



CONSTRUÇÃO CIVIL

Congresso Internacional de Construção Civil

3 e 4 de Novembro | UnB | Brasília - DF

2022

ANAIIS

ISBN: 978-85-60313-46-4

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia
Civil e Ambiental

Congresso Internacional de Construção Civil - CONSTRUÇÃO CIVIL 2022

Prof. Dr. Cláudio Henrique de Almeida Feitosa
Pereira
Prof.^a Dr.^a Jéssica Siqueira de Souza
Editores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade de Brasília - BCE/UNB)

C749 Congresso Internacional de Construção Civil
(2. : 2022 : Brasília).
Construção civil 2022 [recurso eletrônico] /
Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira,
Jéssica Siqueira de Souza, editores. -
Brasília : Universidade de Brasília, Faculdade
de Tecnologia, 2023.
713 p. : il.

Inclui bibliografia.

Modo de acesso: World Wide Web:
<<https://www.construcaounb.com.br>>.
ISBN 978-85-60313-46-4.

1. Construção civil - Congressos. I.
Pereira, Cláudio Henrique de Almeida Feitosa
(ed.). II. Souza, Jéssica Siqueira de (ed.).
III. Título.

CDU 624

Heloiza dos Santos - Bibliotecária - CRB1/1913

Comissão organizadora

Coordenação:

Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira (UnB)

Jéssica Siqueira de Souza (UnB)

Membros:

Ana Luiza Rocha de Souza (UnB)

Arthur Aviz Palma e Silva (UnB)

Cláudia Márcia Coutinho Gurjão (UnB)

Elton Bauer (UnB)

Mara Monaliza Linhares Pereira (UnB)

Michele Tereza Marques Carvalho (UnB)

João Henrique da Silva Rêgo (UnB)

Valdirene Maria Silva Capuzzo (UnB)

Wilamy Valadares de Castro (UnB)

Yuri Sotero Bomfim Fraga (UFAC)

Comissão científica

Ana Luiza Rocha de Souza (UnB)

Ana Silva (IST/Portugal)

Antônio Acacio de Melo Neto (UFPE)

Arthur Aviz Palma e Silva (UnB)

Berenice Martins Toralles (UEL)

Carlos Henrique de Carvalho (IFS)

Cláudia Márcia Coutinho Gurjão (UnB)

Claudio de Souza Kazmierczak
(UNISINOS)

Cláudio Henrique de Almeida Feitosa
Pereira (UnB)

Divino Gabriel Lima Pinheiro (IFG)

Elton Bauer (UnB)

Fernanda Giannotti da Silva
Ferreira (UFSCar)

Fernando da Silva Souza (UFAC)

Francielle Coelho dos Santos (IFG)

Francisco Gabriel Santos Silva (UFBA)

Gabriel Lima Oliveira Martins (UnB)

João Henrique da Silva Rêgo (UnB)

José Getulio Gomes de Sousa
(UNIVASF)

Isaura Nazaré Lobato Paes (UFPA)

Jéssica Siqueira de Souza (UnB)

José Carlos Paliari (UFSCAR)

Lívia Borba Agostinho (UFU)

Lucas Rosse Caldas (UFRJ)

Luciana de Figueiredo Lopes Lucena
(UFRN)

Mara Monaliza Linhares Pereira (UnB)

Maria Cláudia de Freitas Salomão
(UFU)

Mauro Mitsuuchi Tashima (UNESP)

Michele Tereza Marques Carvalho
(UnB)

Moacyr Salles Neto (IFTO)

Myrelle Yasmine de Freitas Câmara
(UnB)

Paulo Francinete Silva Júnior (IFG)

Ricardo Ribeiro do Nascimento (UFAC)

Rodrigo de Melo Lameiras (UnB)

Simone Ribeiro Lopes (UFAC)

Valdirene Maria Silva Capuzzo (UnB)

Vanda Alice Garcia Zanoni (UnB)

Yuri Sotero Bomfim Fraga (UFAC)

Comissão técnica

Divino Gabriel Lima Pinheiro (IFG)

Gabriel Lima Oliveira Martins (UnB)

Marina Maria de Faria Siqueira (UnB)

Maykon Vieira Silva (UnB)

Melissa Lorrane Frazao Lopes (UnB)

Myrelle Yasmine de Freitas Câmara
(UnB)

Suzanna Ferreira Pontes (UnB)

Thália Raelly de Lima Meneses (UnB)

Apresentação

Vivemos um momento que traz à tona a importância da construção civil, nos seus diversos cenários, na busca por um desenvolvimento técnico e econômico sustentável. Podemos afirmar que esse setor é uma importante base de sustentação para o país e que, para tanto, necessita de investimentos nas áreas de pesquisa e aporte à tecnologia, para que se possa obter como resultado a difusão e implementação do conhecimento, tornando esse setor cada vez mais competitivo, no bom sentido da palavra, dentro do quadro nacional e do panorama internacional.

O Congresso Internacional de Construção Civil é um evento criado pela Área de Sistemas Construtivos e Materiais do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (ENC/UnB) como um espaço para discussão, que busca aglutinar trabalhos inseridos no contexto da construção civil, voltados à divulgação do conhecimento técnico científico. Faz parte, também, do conjunto de atividades desenvolvidas pela ênfase de Construção Civil do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC/UnB).

O Construção Civil 2022 é a segunda edição do congresso, no formato *on-line*, que aos poucos vai se consolidando como um evento que pretendemos continuar organizando e promovendo a cada dois anos, propiciando a participação de todos, a partir do envio dos trabalhos, até o momento das apresentações dos trabalhos, de forma totalmente virtual.

No entanto é bom lembrarmos que os trabalhos reunidos são o resultado de esforços e dedicação de pessoas e, que as pesquisas apresentadas são advindas de grupos de pesquisa que se adaptaram à nova realidade e não pararam de trabalhar durante a pandemia.

Ressaltamos que nesta edição, conseguimos trazer mais uma vez, juntamente às seções científicas, palestrantes nacionais e internacionais, que abrilhantaram o evento. Nossos agradecemos, de forma muito carinhosa, a todos os que participaram e contribuíram, em cada uma das etapas, desde a concepção até a realização final de mais um encontro de divulgação de ideias e soluções, com intuito de fazer a nossa construção civil mais competitiva e nossas universidades mais inovadoras.

Prof. Cláudio Henrique de A. F. Pereira
Prof.^a Jéssica Siqueira de Souza
Coordenadores do CONSTRUÇÃO CIVIL 2022

SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| DESEMPENHO E DURABILIDADE | 12 |
| ANÁLISE DE TIPOS DE CAPEAMENTOS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO E CERÂMICOS PARA ALVENARIA ESTRUTURAL | 12 |
| IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM DE ELEMENTOS FINITOS (MEF) PARA A FUNDAÇÃO DE POSTE DE CONCRETO UTILIZADO EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA | 21 |
| CONFEÇÃO DE ARQUIVO DE CLIMA INTERIOR PARA USO EM SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA PARA O ESTUDO DE DEGRADAÇÃO DE COMPONENTES DE FACHADA | 32 |
| CORRELAÇÃO DOS AGENTES CLIMÁTICOS COM A DEGRADAÇÃO DE FACHADA DE UM EDIFÍCIO EM BRASÍLIA POR MEIO DE CURVA DOSE-RESPOSTA | 39 |
| DESEMPENHO DE TINTAS ELABORADAS COM PIGMENTOS VEGETAIS FRENTE AO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO | 48 |
| ANÁLISE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA EM PRÉ-MOLDADOS E MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA | 57 |
| A IMPORTÂNCIA DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL PARA A QUALIDADE FINAL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO | 65 |
| AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ABSORÇÃO E PERDA DE MASSA DO GESSO EXPOSTO À AMBIENTES DISTINTOS | 75 |
| ANÁLISE DE DESLOCAMENTOS EM VIGAS E LAJES NERVURADAS EM UMA DIREÇÃO DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO MODELOS SIMPLIFICADOS | 85 |
| USO DE TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS PARA AVALIAÇÃO DA CORROSÃO DE ARMADURAS NO CONCRETO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA DE 1993 A 2021 | 94 |
| AVALIAÇÃO DO TIPO DE CURA NA CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTIVIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL APARENTE E A RESISTIVIDADE VOLUMÉTRICA DO CONCRETO EM SUAS PRIMEIRAS IDADES | 106 |
| PARÂMETROS DE PROJETO E DE EXECUÇÃO DE FACHADAS EM REVESTIMENTO CERÂMICO ADERIDO E A RELAÇÃO COM SUAS PRINCIPAIS ANOMALIAS | 116 |
| MONITORAMENTO DO DESEMPENHO POR MEIO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA DOS COMPONENTES: UM MODELO INTEGRADO AO BIM | 128 |
| GESTÃO | 137 |
| PRINCIPAIS BENEFÍCIOS DA MODELAGEM E DESENVOLVIMENTO EM BIM DO PROJETO DE IMPERMEABILIZAÇÃO | 137 |
| GESTÃO DE RISCOS: LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE RISCO A PARTIR DE ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA DE PALMAS/TO | 152 |
| ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE PLANEJAMENTOS DE FASE PARA UMA OBRA RESIDENCIAL MULTIPAVIMENTOS EM JOINVILLE - SC | 168 |

| | |
|---|------------|
| PARÂMETROS FUNDAMENTAIS NO CONTROLE DA MANUTENÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL COM AUXÍLIO DO BIM | 176 |
| ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ORÇAMENTO REAL DE OBRAS X VALOR ORÇADO DE UMA OBRA COMERCIAL: ESTUDO DE CASO | 186 |
| INTEGRAÇÃO DE PROJETOS AS-BUILD EM UMA EDIFICAÇÃO DE USO EDUCACIONAL | 194 |
| A INFLUÊNCIA DA CRISE PANDÊMICA DE COVID-19 NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DE CASO SOB A PERSPECTIVA DE UMA EMPRESA DO SEGMENTO EM PALMAS/TO | 201 |
| MAPEAMENTO DAS PRODUTIVIDADES DE MÃO DE OBRA DA ETAPA ESTRUTURAL DE UMA OBRA EM CONCRETO ARMADO | 212 |
| PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DE CANTEIRO DE OBRAS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA PÚBLICA NO MUNICÍPIO DE GOIANÉSIA DO PARÁ | 226 |
| INDICADORES BASEADOS EM FICHAS DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇOS: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÕES VERTICAIS | 238 |
| ANÁLISE DA INTERRELAÇÃO ENTRE PROFISSIONAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E PROPRIETÁRIOS DE OBRAS DE PEQUENO PORTE EM IRATI - PR | 246 |
| UTILIZAÇÃO DA PSICODINÂMICA DO TRABALHO NO PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RISCOS (PGR) DA CONSTRUÇÃO CIVIL | 253 |
| ACESSIBILIDADE EM ESPAÇOS PÚBLICOS: UMA ANÁLISE DA PRAÇA DOS TRÊS PODERES LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE GOIANÉSIA DO PARÁ | 261 |
| ANÁLISE DA APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS E FERRAMENTAS LEAN CONSTRUCTION NA EXECUÇÃO DE OBRAS CIVIS | 276 |
| MATERIAIS E COMPONENTES | 286 |
| ESTUDO DOS EFEITOS DA PANDEMIA COVID-19 NA CADEIA PRODUTIVA DO VIDRO NO BRASIL | 286 |
| INFLUÊNCIA DA DIMENSÃO MÁXIMA DO AGREGADO GRAÚDO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO CICLÓPICO | 294 |
| AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM PET (POLITEREFTALATO DE ETILENO) SUBSTITUINDO PARCIALMENTE O AGREGADO MIÚDO | 302 |
| AVALIAÇÃO DO MOMENTO CRÍTICO ELÁSTICO EM VIGAS CELULARES DE AÇO SUBMETIDAS À FLEXÃO NO EIXO DE MAIOR INÉRCIA | 314 |
| ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DE CUSTO PARA EXECUÇÃO DE REVESTIMENTO ARGAMASSADO DE CAMADA ÚNICA EM UMA OBRA RESIDENCIAL UNIFAMILIAR NA CIDADE DE SOBRAL-CEARÁ | 322 |
| USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO | 331 |
| USO DE RESÍDUOS DO LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS - UFT PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO DE PAVIMENTAÇÃO | 342 |

| | |
|--|------------|
| AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE | 350 |
| CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA SÍLICA ATIVA PARA APLICAÇÃO COMO MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR | 358 |
| TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS DREGS PARA A PRODUÇÃO DE LIGANTES ÁLCALI-ATIVADOS | 367 |
| INCORPORAÇÃO DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO EM ARGAMASSA PARA O ENCUNHAMENTO DE PAREDES | 376 |
| METODOLOGIA PARA SUBSTITUIÇÃO DOS AGREGADOS NATURAIS PELO AGREGADO RECICLADO DE RCC PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO | 385 |
| UTILIZAÇÃO DE MACHINE LEARNING PARA PREVISÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CONCRETOS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE USOS E TENDÊNCIAS | 396 |
| USO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM FIBRA DE POLIPROPILENO EM PAINÉIS MONOLÍTICOS: COMPARATIVO COM A REFERÊNCIA | 405 |
| VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA E DURABILIDADE DE CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND COM ADIÇÕES DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO | 413 |
| ANÁLISE DA DIFERENÇA NO TAMANHO DOS VOXELS DE IMAGENS DE MICROTOMOGRAFIA DE RAIOS – X NA POROSIDADE DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS | 420 |
| DESENVOLVIMENTO EM SOFTWARE DO FENÔMENO GOLPE DE ARIETE EM PVC APLICANDO O MÉTODO DAS CARACTERÍSTICAS | 434 |
| ESCRITA CRIATIVA NO ENSINO DE VEDAÇÕES VERTICAIS | 439 |
| USO DE ADITIVO SUPER PLASTIFICANTE PARA GANHO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA EM TRAÇO DE CONCRETO BOMBEADO DE 25 MPA | 449 |
| AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE DEFORMAÇÃO EM PASTA CIMENTÍCIA UTILIZANDO O MÉTODO DO TUBO CORRUGADO | 461 |
| PATOLOGIAS E VIDA ÚTIL | 470 |
| UTILIZAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA) PARA A INSPEÇÃO E O MAPEAMENTO DE DANOS | 470 |
| MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA DE ENGENHARIA | 481 |
| LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO DA PONTE SOBRE O RIO BARIGUI (LE) | 495 |
| INVESTIGAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIO ELEVADO DE ÁGUA FRIA COM USO DE MANTA ASFÁLTICA | 510 |
| AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE PILARES COM CORROSÃO DE ARMADURAS | 521 |
| MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMA HIDRÁULICO EM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL | 534 |

| | |
|---|------------|
| INVESTIGAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO TERMINAL RODOVIÁRIO DO MUNICÍPIO DE BACABAL, NO MARANHÃO | 540 |
| AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO PELO MÉTODO GDE/UNB: ESTUDO DE CASO EM UMA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL EM SALVADOR, BAHIA | 552 |
| ANÁLISE DE REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS, UTILIZANDO O ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO ATRAVÉS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA | 562 |
| ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS NA ÁREA DA GARAGEM DE UMA EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO LOCALIZADA NA CIDADE DO RECIFE-PE | 573 |
| DETECÇÃO DE CORROSÃO EM ARMADURAS PELO MÉTODO DA DIFERENÇA DE POTENCIAL | 583 |
| ANÁLISE DAS CONDIÇÕES PREDIAIS E PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA UMA INSTITUIÇÃO FEDERAL NO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE - CE | 598 |
| A INFLUÊNCIA DOS FATORES DE INTEMPERISMOS NA OCORRÊNCIA DA DEGRADAÇÃO DAS FACHADAS | 613 |
| O IMPACTO DAS PATOLOGIAS EM CALÇADAS DE CONCRETO SIMPLES | 621 |
| REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A EVOLUÇÃO DA DEGRADAÇÃO: INICIAÇÃO E PROPAGAÇÃO | 632 |
| AVALIAÇÃO EM CAMPO DE ESPESSURA DE UM SISTEMA DE REVESTIMENTO POLIMÉRICO, APLICADO SOB MATERIAL ISOLANTE, EM LOCAL COM CONDIÇÃO SANITÁRIA ESPECIAL: UM ESTUDO DE CASO | 641 |
| SUSTENTABILIDADE | 651 |
| APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO COMO AGREGADOS PARA PRODUÇÃO DE CONCRETOS | 651 |
| REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DA LITERATURA - CAPTURA DE CARBONO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO POR CARBONATAÇÃO | 660 |
| USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM TIJOLOS DE SOLO- CIMENTO | 670 |
| AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DE MÁSCARA E DIFERENTES LIGANTES | 681 |
| USO DOS RESÍDUOS DE PEDRA MORISCA DA CIDADE DE CASTELO DO PIAUÍ NA PRODUÇÃO DE CONCRETO | 690 |
| ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO ECONOMIA CIRCULAR, DIGITALIZAÇÃO E SUSTENTABILIDADE | 704 |

ÁREA TEMÁTICA: Desempenho e Durabilidade

ANÁLISE DE TIPOS DE CAPEAMENTOS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO E CERÂMICOS PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

BEZERRA, Felipe Artur C.¹; DE SOUSA, Mariell Monturil²; IZQUIERDO, Orieta Soto³

¹ Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Brasil, felipearturb@outlook.com, 0000-0003-2150-2432

² Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Brasil, mariell.monturil@mail.uft.edu.br

³ Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Brasil, orietasi@uft.edu.br

RESUMO

A caracterização mecânica dos blocos estruturais é realizada por meio de ensaios de resistência à compressão. A ABNT NBR 15270-1: 2017 [3] exige que a carga seja aplicada de maneira distribuída por toda a superfície do bloco. Para que ocorra uma distribuição uniforme das tensões, as superfícies dos blocos precisam ser regularizadas. A mesma norma recomenda que a regularização das superfícies seja feita com uma cobertura de pasta de cimento contendo uma espessura de 3 mm. Essa cobertura é identificada como capeamento do bloco e classifica-se como um capeamento duro. Não obstante, o capeamento com pasta de cimento é um procedimento lento e que exige muito cuidado e prática. Segundo Mendes (1998), o capeamento ideal será aquele com o qual se consegue balancear a facilidade de execução e a realização dos ensaios com resultados conclusivos. Desse modo, este trabalho teve como objetivo buscar uma alternativa ao capeamento de pasta de cimento (duro), utilizando materiais “secos” como MDF, forro pacote e madeira compensada, visando agilidade na determinação das propriedades mecânicas dos blocos estruturais. Com os resultados obtidos nos ensaios de compressão foi possível verificar estatisticamente, a possibilidade de substituição do capeamento de pasta de cimento por um capeamento seco, obtendo-se valores de resistência à compressão iguais e até superiores ao da pasta de cimento.

Palavras-chave: Blocos Estruturais; Alvenaria Estrutural; Capeamentos; Resistência à compressão.

ABSTRACT

The mechanical characterization of the structural blocks is carried out through compressive strength tests. ABNT NBR 15270-1: 2017 [3] requires that the load be applied evenly over the entire surface of the block. For a uniform distribution of stresses to occur, the surfaces of the blocks need to be smoothed. The same standard recommends that the smoothing of the surfaces be done with a cement paste covering with a thickness of 3 mm. This covering is identified as block capping and is classified as hard capping. However, capping with cement paste is a slow procedure that requires a lot of care and practice. According to Mendes (1998), the ideal capping will be the one with which it is possible to balance the ease of execution and the performance of the tests with conclusive results. Thus, this work aimed to find an alternative to cement paste capping (hard), using "dry" materials such as MDF, fiberboard and plywood, aiming at agility in determining the mechanical properties of the structural blocks. With the results obtained in the compression tests, it was possible to statistically verify the possibility of replacing the cement paste capping with a dry capping, obtaining values of compressive strength equal and even higher than that of another one.

Keywords: Structural Blocks; Structural Masonry; Capping; Compressive Strength.

1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural vem despontando como uma forte alternativa em construções por todo o Brasil. Contudo, pesquisas e um maior aprofundamento e investigação na área ainda são deficitários. Seja por fatores como custo, pelas tecnologias e/ou falta de materiais. Fato é que se deve empregar maior esforço científico a uma área com grande potencial de aplicabilidade construtiva, visando aumentar a eficácia do processo construtivo, menores custos e maior qualidade do produto final.

De acordo com Fortes [1], o desenvolvimento de pesquisas na área contribui para o desenvolvimento de procedimentos práticos e eficientes em um setor de edificações que atualmente possui significativo déficit populacional. Somado a isso, tem-se que no país grande parte do estudo relacionado à alvenaria estrutural é feito basicamente e quase que unicamente por meio da experimentação. Isso contribui para poucos ganhos práticos relacionados ao tema. Segundo Freitas [2], uma modelagem mais numérica e prática proporcionaria um maior ganho como um todo. A norma ABNT NBR 15270-1: 2017 [3], que estabelece os métodos para a execução dos ensaios dos blocos cerâmicos estruturais, expõe que a verificação de resistência dos blocos constitui uma informação essencial para o dimensionamento da estrutura de alvenaria de paredes portantes. Tanto na caracterização prévia, quanto no controle da obra, a determinação da resistência à compressão da alvenaria pode ser feita por ensaios de prismas, pequenas paredes ou de paredes. Para o ensaio à compressão de prismas ou de blocos, é preciso garantir a regularização das superfícies para evitar as concentrações de tensões ao se aplicar o carregamento. Este procedimento, proposto pela norma ABNT NBR 15270-1: 2017 [3], é denominado por capeamento, o qual apresenta procedimento padrão para sua execução.

Assim, define-se o capeamento como uma fina camada de um determinado material disposta na superfície do corpo-de-prova. O objetivo do capeamento é reduzir os efeitos das irregularidades no topo e na base do bloco, proporcionando a distribuição mais uniforme das tensões. A ABNT NBR 15270: 2005 [3], assim como a ABNT NBR 12118:2013 [4], pedem um capeamento do bloco com pasta de cimento ou argamassa com resistência superior à do material do bloco, devendo a superfície ser plana e a espessura do capeamento inferior a 3 mm. O capeamento com pasta de cimento é um procedimento lento e que exige muito cuidado e prática tendo implicações diretas nos resultados apresentados no ensaio de prisma e/ou de blocos. No entanto, o processo de capeamento pode ser otimizado com a utilização de processos ou outros materiais alternativos. Se for possível a substituição do capeamento com pasta de cimento por um capeamento “seco”, Fortes [2] sugere que o procedimento de ensaio pode ser melhorado, com vantagens em termos de tempo e facilidade de execução e menor dependência da experiência do laboratorista. Desta maneira, este trabalho teve como objetivo principal estudar a influência do capeamento seco em substituição à pasta de cimento (duro), nos ensaios de resistência à compressão de blocos cerâmicos estruturais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os blocos de concreto que foram usados nesta pesquisa são classificados como estruturais (resistência característica superior aos 4 MPa) pertencentes à família B29 (14x19x29 cm). Os blocos cerâmicos utilizados nesta pesquisa, igualmente classificados como estruturais, possui dimensões (14x19x29 cm). No instante do recebimento dos lotes, os blocos foram inspecionados para a não apresentação de defeitos tais como quebras e superfícies irregulares.

Foram testados quatro tipos de capeamentos, sendo um duro (pasta de cimento) e três secos (madeira compensada, forro pacote, chapa dura/MDF). Estes estão apresentados na Figura 1 a seguir. Para cada tipo de capeamento foram testados 6 blocos cerâmicos e 6 blocos de concreto, totalizando 48 blocos ensaiados à resistência à compressão axial. Os testes de resistência mecânica dos blocos cerâmicos foram executados conforme proposto pela ABNT NBR 15270-1: 2017 [3], Anexo C. Já os testes de resistência mecânica dos blocos de concreto foram executados conforme proposto pelo item 6 da ABNT NBR 12118:2013 [4].



Figura 1 - Capeamentos secos (a) e pasta de cimento utilizados no ensaio (b).

A preparação dos corpos de prova e seus capeamentos para o ensaio foram realizadas visando as etapas propostas pela ABNT NBR 12118:2013 [4]. O capeamento de pasta de cimento foi produzido com cimento CPV-ARI e areia fina na

proporção de 1:1 conforme apresentado por Soto [5]. A água foi utilizada em uma quantidade suficientemente adequada para que pasta ficasse com uma consistência razoável.

Conforme ainda exigido pela ABNT NBR 12118:2013 [4] e ABNT NBR 15270-1: 2017 [3], o capeamento com pasta de cimento teve espessura de 3 mm +/- 1 mm com tempo de cura/desmolde de aproximadamente 24 horas. Os capeamentos secos, propostos neste trabalho foram cortados em chapas com dimensões que cobrissem a superfície do bloco em contato com a prensa. Os ensaios foram realizados no laboratório de materiais da Universidade Federal do Tocantins com o auxílio da prensa QUANTEQ UTM 30.000, com capacidade para 200 toneladas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o ensaio de resistência à compressão axial, foram avaliados os dados obtidos para os capeamentos secos e a pasta de cimento determinando-se assim a resistência do conjunto bloco/capeamento. Os dados de cada conjunto com capeamento seco foram comparados aos dados dos blocos com capeamento de pasta de cimento verificando a viabilidade de substituição deste conforme as justificativas apresentadas anteriormente.

No estudo comparativo foram adotados modelos estatísticos paramétricos (teste t Student) e não paramétricos (Kruskal-Wallis). Com os valores individuais dos corpos de prova do ensaio da resistência à compressão foi possível calcular a resistência característica (Fbk), a resistência média (Fbm), o coeficiente de variação (C.V.) e os desvio padrão (D.P) das amostras. As Tabelas 1 e 2 mostram os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão axial para o capeamento com pasta de cimento (Figura 2).

Tabela 1 - Ensaio de resistência à compressão com capeamento de pasta de cimento e blocos de concreto.

| Tipo de capeamento | Bloco | Fb (MPa) | Desvio Padrão (MPa) | Fbm(MPa) | C.V. (%) | Fbk (MPa) |
|--------------------|-------|----------|---------------------|----------|----------|-----------|
| Pasta de cimento | 1 | 2,68 | 0,66 | 3,55 | 18,62 | 2,39 |
| | 2 | 3,18 | | | | |
| | 3 | 3,51 | | | | |
| | 4 | 3,60 | | | | |
| | 5 | 3,64 | | | | |
| | 6 | 4,68 | | | | |

Tabela 2 - Resultados do ensaio de compressão com capeamento de pasta de cimento em blocos cerâmicos.

| Tipo de capeamento | Bloco | Fb (MPa) | Desvio Padrão (MPa) | Fbm(MPa) | C.V. (%) | Fbk (MPa) |
|--------------------|-------|----------|---------------------|----------|----------|-----------|
| Pasta de cimento | 1 | 3,12 | 1,36 | 4,31 | 31,60 | 2,86 |
| | 2 | 3,39 | | | | |
| | 3 | 3,64 | | | | |
| | 4 | 4,06 | | | | |
| | 5 | 4,83 | | | | |
| | 6 | 6,80 | | | | |

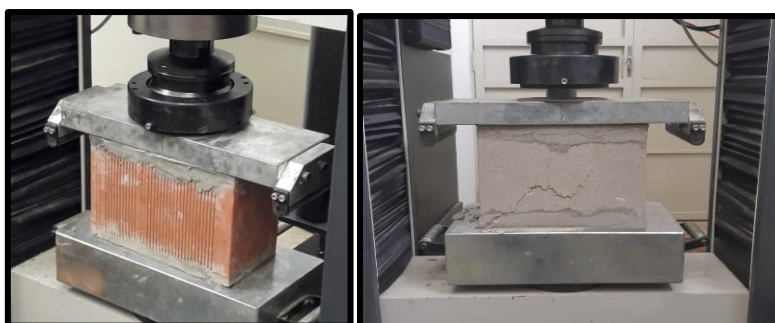


Figura 2 - Ensaio de compressão com capeamento de pasta de cimento durante o ensaio nos blocos cerâmico (à esquerda) e de Concreto (à direita).

Para o forro pacote utilizado no ensaio de compressão (Figura 3), os valores obtidos estão descritos na Tabela 3 e 4.

Tabela 3 - Ensaio de resistência à compressão com capeamento de Forro Pacote em blocos de concreto.

| Tipo de capeamento | Bloco | Fb (MPa) | Desvio Padrão (MPa) | Fbm (MPa) | C.V. (%) | Fbk (MPa) |
|--------------------|-------|----------|---------------------|-----------|----------|-----------|
| Forro Pacote | 7 | 6,07 | 0,48 | 7,04 | 6,81 | 5,92 |
| | 8 | 7,12 | | | | |
| | 9 | 7,26 | | | | |
| | 10 | 7,26 | | | | |
| | 11 | 7,27 | | | | |
| | 12 | 7,27 | | | | |

Tabela 4 - Resultados do ensaio de compressão com capeamento de Forro pacote em blocos cerâmicos.

| Tipo de capeamento | Bloco | Fb (MPa) | Desvio Padrão (MPa) | Fbm (MPa) | C.V. (%) | Fbk (MPa) |
|--------------------|-------|----------|---------------------|-----------|----------|-----------|
| Forro Pacote | 7 | 5,83 | 0,55 | 6,59 | 8,40 | 5,19 |
| | 8 | 5,98 | | | | |
| | 9 | 6,63 | | | | |
| | 10 | 6,98 | | | | |
| | 11 | 7,01 | | | | |
| | 12 | 7,10 | | | | |



Figura 3 - Ensaio de compressão com capeamento de Forro Pacote nos blocos cerâmico (à esquerda) e de Concreto (à direita).

Para o MDF de 2,8 mm utilizado no ensaio de resistência à compressão (Figura 4), os valores obtidos estão descritos nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Ensaio de resistência à compressão com capeamento de MDF 2,8 mm em blocos de concreto.

| Tipo de capeamento | Bloco | Fb (MPa) | Desvio Padrão (MPa) | Fbm (MPa) | C.V. (%) | Fbk (MPa) |
|--------------------|-------|----------|---------------------|-----------|----------|-----------|
| MDF 2,8 mm | 13 | 3,96 | 0,86 | 5,45 | 15,87 | 3,78 |
| | 14 | 5,21 | | | | |
| | 15 | 5,39 | | | | |
| | 16 | 5,73 | | | | |
| | 17 | 5,83 | | | | |

Tabela 6 - Resultados do ensaio de compressão com capeamento de MDF 2,8 mm em blocos cerâmicos.

| Tipo de capeamento | Bloco | Fb (MPa) | Desvio Padrão (MPa) | Fbm (MPa) | C.V.(%) | Fbk (MPa) |
|--------------------|-------|----------|---------------------|-----------|---------|-----------|
| MDF 2,8 mm | 13 | 2,24 | 1,16 | 3,87 | 30,06 | 1,99 |
| | 14 | 2,92 | | | | |
| | 15 | 3,76 | | | | |
| | 16 | 4,15 | | | | |
| | 17 | 4,69 | | | | |
| | 18 | 5,44 | | | | |

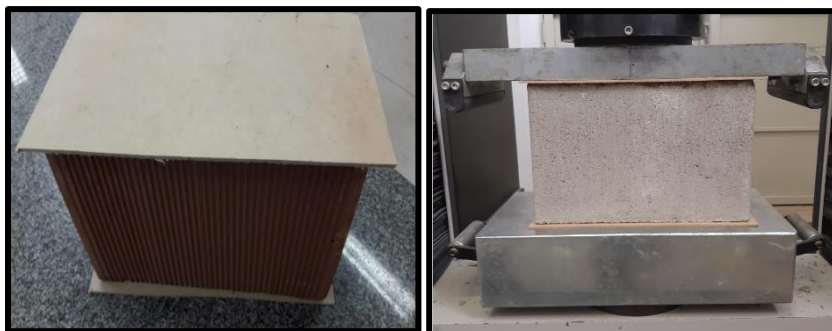


Figura 4 - Ensaio de resistência à compressão com capeamento de MDF nos blocos cerâmico (à esquerda) e de Concreto (à direita).

Por fim, para a madeira compensada de 4.0 mm utilizada no ensaio de resistência à compressão (Figura 5), os valores obtidos estão descritos nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Ensaio de resistência à compressão com capeamento de Madeira Compensada em blocos de concreto.

| Tipo de capeamento | Bloco | Fb (MPa) | Desvio Padrão (MPa) | Fbm (MPa) | C.V. (%) | Fbk (MPa) |
|-------------------------|-------|----------|---------------------|-----------|----------|-----------|
| Madeira Compensada 4 mm | 19 | 6,79 | 0,24 | 7,11 | 3,42 | 6,33 |
| | 20 | 6,80 | | | | |
| | 21 | 7,25 | | | | |
| | 22 | 7,26 | | | | |
| | 23 | 7,27 | | | | |
| | 24 | 7,28 | | | | |

Tabela 8 - Resultados do ensaio de compressão com capeamento de Madeira Compensada 4 mm em blocos cerâmicos.

| Tipo de capeamento | Bloco | Fb (MPa) | Desvio Padrão (MPa) | Fbm (MPa) | C.V. (%) | Fbk (MPa) |
|-------------------------|-------|----------|---------------------|-----------|----------|-----------|
| Madeira Compensada 4 mm | 19 | 7,17 | 0,03 | 7,19 | 0,38 | 7,16 |
| | 20 | 7,18 | | | | |
| | 21 | 7,18 | | | | |
| | 22 | 7,19 | | | | |
| | 23 | 7,19 | | | | |
| | 24 | 7,24 | | | | |

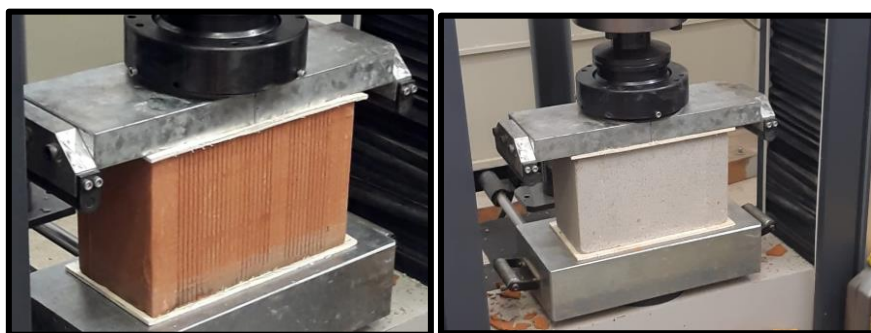


Figura 5 - Ensaio de resistência à compressão com capeamento de madeira compensada nos blocos cerâmico (à esquerda) e de Concreto (à direita).

Analisando-se os resultados de ambos os blocos, foi possível inferir que o capeamento feito por pasta de cimento é o de maior variabilidade ao longo do ensaio (maior coeficiente de variação). Isso, de um ponto de vista teórico, era esperado por se tratar de um material a ser produzido, este está exposto a variáveis externas que interferem no resultado final da pesquisa. Estas variáveis podem ser descritas como o tempo de cura, qualidade do processo de capeamento que depende da experiência do executor, qualidade dos materiais, etc.

O MDF apresentou um resultado semelhante ao da pasta de cimento (alta variação), para os dois tipos de bloco analisados. Os resultados, porém, apresentaram uma resistência média maior e com uma baixa deformação de sua estrutura. Deve-se levar em consideração a presença de um *outlier* (resultado muito distante do conjunto), identificado pelo teste de Shapiro-Wilk, de 3,96 MPa na amostra de MDF. Com isso, observando a amostragem sem o outlier o MDF é recomendado para capeamento por possuir uma variação dentro do normal com bom alcance de resistência.

Por fim, os valores de resistência para o forro pacote e para a madeira compensada mostraram-se superiores ao da pasta de cimento possuindo variações mais baixas. Contudo, em ambos os capeamentos foi observado uma significativa compactação seguida de aderência de ambos os materiais nas faces dos blocos. Por apresentarem as maiores médias de resistência e por serem materiais que se mostraram mais deformáveis ambos os capeamentos são recomendados, sobretudo, para faixas maiores de resistência.

Durante o ensaio, observou-se que o Forro Pacote, devido a sua estrutura com altos índices de vazios, obteve uma compactação de sua estrutura, aderindo à superfície do bloco, promovendo assim uma boa regularização da superfície. No ponto carga de rompimento do bloco com o capeamento de Madeira Compensada, este também obteve uma compactação da estrutura, superior a 1 mm e inferior a 3 mm, aderindo-se ao bloco cerâmico. Nessa pesquisa os resultados obtidos para a comparação entre os quatro capeamentos realizados estão dispostos nas Figuras 1 e 2, a seguir.

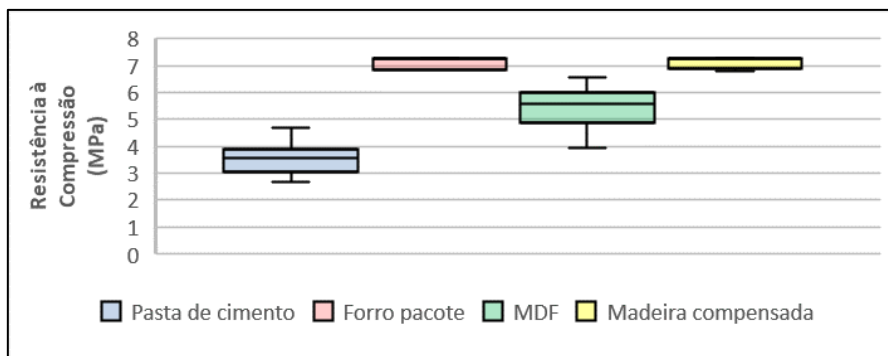


Figura 1 - *Boxplot* comparativo da resistência por tipo de capeamento para blocos de concreto.

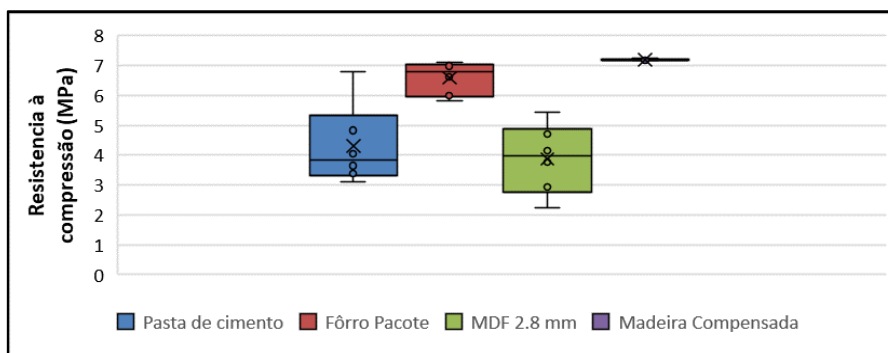


Figura 2 - *Boxplot* comparativo do F_b dos blocos por tipo de capeamento em blocos cerâmicos.

Como observado as Figuras anteriores, os resultados para a Madeira Compensada e para o Forro Pacote foram próximos entre si, mas, apresentaram valores superiores ao da pasta de cimento. No ponto da carga de rompimento do bloco com o capeamento de Madeira Compensada, observou-se uma compactação da estrutura, superior a 1 mm e inferior a 3 mm, indicando uma aderência maior ao bloco cerâmico.

Utilizando uma análise estatística dos dados coletados por meio do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, com o auxílio do programa R, foram feitas algumas análises. Neste teste estatístico, o valor de p menor que 5% ou 0,05, representa que os tipos de capeamento comparados não apresentam semelhança quando submetidos ao ensaio de compressão. Caso o valor de p seja maior que 5%, é inferido que não existe diferença significativa dos capeamentos comparados. Assim,

fazendo esta análise, foram coletados os seguintes resultados conforme as Tabelas 9 e 10 para os blocos de concreto e cerâmico, respectivamente.

Tabela 9 - Comparação dos tipos de capeamento por meio do teste estatístico não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

| Capeamento (Concreto) | Kruskal-Wallis Chi-Squared | df | p-value | Comparação |
|----------------------------|----------------------------|----|----------|------------------------------------|
| Todos os capeamentos | 18,13 | 3 | 0,000413 | Apresentam diferença Significativa |
| Pasta x Forro Pacote | 8,36 | 1 | 0,003823 | Apresentam diferença Significativa |
| Pasta x MDF | 4,33 | 1 | 0,0373 | Apresentam diferença Significativa |
| Pasta x Madeira Compensada | 8,34 | 1 | 0,003885 | Apresentam diferença Significativa |

Tabela 10 - Comparação dos tipos de capeamento por meio do teste estatístico não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

| Capeamento (Cerâmico) | Kruskal-Wallis Chi-squared | df | p-value | Comparação |
|----------------------------|----------------------------|----|----------|--|
| Todos os capeamentos | 18,503 | 3 | 0,000346 | Apresentam diferença Significativa |
| Pasta x Forro Pacote | 5,769 | 1 | 0,01631 | Apresentam diferença Significativa |
| Pasta x MDF (2,8 mm) | 0,10256 | 1 | 0,7488 | Não apresentam diferença Significativa |
| Pasta x Madeira Compensada | 8,366 | 1 | 0,003823 | Apresentam diferença Significativa |

Para os resultados obtidos na tabela 10, verifica-se que, capeamento de MDF 2,8 mm e a pasta de cimento apresentaram semelhança nos resultados da resistência à compressão. Desse modo, pode se inferir que o MDF de 2,8 mm é uma alternativa para a substituição da pasta de cimento por capeamento seco. Na comparação entre a pasta de cimento e o Forro Pacote e entre pasta de cimento e a Madeira Compensada de 4.0 mm, estes não apresentaram semelhança estatística. No entanto, apesar da diferença estatística, tanto o Forro Pacote como a Madeira Compensada proporcionaram resistências superiores indicando uma melhor distribuição a tensões na face do bloco e, portanto, podem ser uma alternativa para o capeamento de blocos cerâmicos no ensaio de compressão axial.

Partindo para uma análise paramétrica, foi utilizado o Teste-t, com o auxílio do software Excel. Com base neste modelo, foram analisadas a relação, dois a dois, entre a pasta de cimento e os demais capeamentos secos. Neste método, a hipótese nula H_0 considera que, se o p-value é maior que 0,05 ou 5%, ou seja, é possível considerar as médias dos dois grupos comparados como estatisticamente semelhantes. Caso o p-value for menor que 0,05 ou 5%, infere-se que as médias dos dois grupos comparados como estatisticamente semelhantes.

Além disso, é necessário que algumas condições sejam satisfeitas. A primeira delas é a verificação de uma distribuição normal dos dados. Esta foi confirmada por meio do teste de Shapiro-Wilk que indicou uma distribuição normal para os dados da Pasta de Cimento, MDF 2,8 mm e Forro Pacote. Os dados obtidos para a Madeira Compensada verificados não apresentaram uma distribuição normal nesta pesquisa.

A segunda verificação verificada é a ausência de outliers nos dados, que foi confirmado em todas as amostras com exceção dos dados da Madeira Compensada que apresentou um resultado e que pode ser relevado pela baixa influência nos resultados estatísticos. Por fim, o terceiro pressuposto verificado refere-se à homogeneidade das variâncias por meio do teste de Levene. Na análise do Teste-t, conforme as hipóteses H_0 (Variância Homogênea se $p\text{-value} > 0,05$) e H_1 (Variância não Homogênea se $p\text{-value} \leq 0,05$), apenas os dados da relação de Pasta de Cimento e Madeira Compensada não apresentaram homogeneidade das variâncias para as médias e medianas. Os resultados podem ser vistos nas Tabelas 11 e 12 para os blocos de concreto e cerâmico, respectivamente.

Tabela 11 - Resultado do Teste-t independente relacionando a pasta de cimento com os capeamentos secos em blocos de concreto.

| Tipo de Capeamento | t-stat. | df | p-value | t-crítico | Significância |
|----------------------------|---------|----|----------|-----------|------------------------------------|
| Pasta x Forro Pacote | 10,480 | 10 | 0,000001 | 2,2281 | Existe diferença entre as amostras |
| Pasta x MDF | 4,273 | 10 | 0,001627 | 2,2281 | Existe diferença entre as amostras |
| Pasta x Madeira Compensada | 12,38 | 10 | 0,000002 | 2,2281 | Existe diferença entre as amostras |

Tabela 12 - Resultado do Teste-t independente relacionando a pasta de cimento com os capeamentos secos em blocos cerâmicos.

| Tipo de Capeamento | t-stat. | df | p-value | t-crítico | Significância |
|----------------------------|---------|----|---------|-----------|-------------------------------------|
| Pasta x Forro Pacote | 3,7998 | 10 | 0,0035 | 2,2281 | Existe diferença entre amostras |
| Pasta x MDF (2,8 mm) | 0,5980 | 10 | 0,5631 | 2,2281 | Não existe diferença entre amostras |
| Pasta x Madeira Compensada | 5,1856 | 10 | 0,0004 | 2,2281 | Existe diferença entre amostras |

O resultado do Teste-t, para as amostras de blocos de concreto (Tabela 11), mostrou diferenças ($P < 0,05$) entre todas as amostras e o controle (pasta de cimento) motivo pela qual optou-se por fazer o teste não paramétrico de Mann-Whitney citado anteriormente. De forma geral e analisando-se puramente por semelhança estatística o capeamento de MDF 2,8 mm apresentou resultados satisfatórios com relação à substituição da pasta de cimento. Entretanto, fazendo-se uma análise qualitativa, os capeamentos com forro pacote e madeira compensada se mostraram também eficientes pois apresentaram valores de resistência característica superiores aos da pasta de cimento além de mostrar boa aderência entre o forro e as faces dos blocos no momento do ensaio. Esses capeamentos também apresentaram baixas dispersões de resultados.

Para os blocos cerâmicos o resultado do teste-t, apresentado na tabela 12, para as amostras independentes de MDF 2,8 mm e pasta de cimento não apresentaram diferenças significativas entre os capeamentos ($f(10) = 0,598$; $p > 0,05$) e, portanto, podemos inferir que o MDF 2,8 mm é uma alternativa para o capeamento de blocos cerâmicos estruturais no ensaio mecânico. O resultado do teste-t para as amostras independentes de Forro Pacote e a pasta de cimento apresentou diferenças significativas entre os capeamentos ($f(10) = 3,799$; $p < 0,0035$). Para as amostras independentes de Madeira Compensada e a pasta de cimento, o resultado do teste-t apresentou diferenças significativas entre os capeamentos ($f(10) = 5,185$; $p < 0,001$).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral e analisando-se puramente por semelhança estatística o capeamento de MDF 2,8 mm apresentou resultados satisfatórios com relação à substituição da pasta de cimento. Esse resultado é considerado favorável para os dois tipos de blocos, contudo, apresenta uma semelhança estatística com a pasta de cimento somente em blocos cerâmicos, indicando a possibilidade de substituição para o uso do capeamento seco.

Fazendo-se uma análise qualitativa dos resultados para os blocos de concreto, os capeamentos com forro pacote e madeira compensada se mostraram também eficientes pois apresentaram valores de resistência característica superiores aos da pasta de cimento além de mostrar boa aderência entre o forro e as faces dos blocos no momento do ensaio. Esses capeamentos também apresentaram baixas dispersões de resultados.

Mesmo não apresentando uma semelhança estatística na análise de bloco cerâmico, com base no teste-t, tanto o Forro Pacote como a Madeira compensada apresentaram valores de Fbk superior ao da pasta de cimento nesta pesquisa. Isto indica que estes dois capeamentos secos conseguiram uma melhor distribuição dos esforços na superfície do bloco cerâmico e, portanto, também poderão ser utilizados como materiais alternativos no capeamento de blocos cerâmicos estruturais no ensaio de compressão axial.

AGRADECIMENTOS

Ao laboratório de materiais do curso de Engenharia Civil da UFT, pela realização dos ensaios de resistência.

REFERÊNCIAS

- [1] FORTES, E. C. **Influência do capeamento e caracterização da resistência à compressão de alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2012. 303 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2012.
- [2] FREITAS, A. A. **Análise numérica e experimental do comportamento de prismas e miniparedes submetidos à compressão**. 2008. 289 p. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro. ABNT, 2013. 14 p.

[5] SOTO, I. I. (2015). **Utilização de pós residuais e fibra de sisal em blocos de concreto**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

ÁREA TEMÁTICA: DESEMPENHO E DURABILIDADE

IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM DE ELEMENTOS FINITOS (MEF) PARA A FUNDAÇÃO DE POSTE DE CONCRETO UTILIZADO EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

ANUNCIÇÃO, Maria Clara Dias¹; CARNEIRO, Guilherme Rios²; POSSARI, Daliana Cristina³; SANTOS, Paulo Vitor Souza⁴; SILVA, Fernando Carolino da⁵

¹ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, Brasil, engmariaclarad@gmail.com

² Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana, Feira de Santana-BA, Brasil, eng.guilhermerios@gmail.com

³ Vale S.A, Itabira-MG, Brasil, dalianapossari@hotmail.com

⁴ Exército Brasileiro, Salvador-BA, Brasil, engpaulovitorss@gmail.com

⁵ Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, fernandocarolinodasilva@hotmail.com, 0000-0003-4817-3376

RESUMO

Este artigo apresenta uma avaliação estrutural da fundação de torres autoportantes (postes de concreto) utilizadas em rede de distribuição de energia elétrica. O método de dimensionamento da fundação dessas estruturas consistiu no emprego de elementos finitos (MEF) para avaliar a interação solo-estrutura. A fim de se analisar adequadamente os esforços transferidos à fundação dessas peças, utilizou-se um procedimento pouco abordado na literatura acadêmica brasileira: o critério de ruptura de Drucker-Prager. Avaliou-se um projeto de fundações de 145 postes de uma linha de transmissão no perímetro da rodovia BA – 099, e, desse conjunto, uma única torre autoportante foi selecionada para o dimensionamento através do MEF. A solicitação nominal atuante no poste selecionado considera condições climáticas severas. A simulação numérica foi realizada pelo *software* ANSYS, ao passo em que ensaios SPT e correlações empíricas foram utilizadas nos cálculos de tensão admissível do solo. O objetivo principal desse artigo é demonstrar que a utilização de ferramentas de modelagem computacional auxilia nas decisões de projeto que tangem a integração de estratégias e estabelecimentos de critérios de desempenho e durabilidade de torres autoportantes. Os deslocamentos totais e a rotação da estrutura apresentados na modelagem numérica permitiram a avaliação da interação solo-estrutura do conjunto estudado.

Palavras-chave: Método de Elementos Finitos; Solo-Estrutura; Linhas de Transmissão; Postes de Concreto.

ABSTRACT

This paper presents a structural evaluation of the foundation of self-supporting towers (concrete poles) used in electric power distribution networks. The method of design of the foundation of these structures consisted in the use of finite elements (FEM) to evaluate the soil-structure interaction. In order to properly analyze the stresses transferred to the foundation of these parts, a procedure little addressed in the Brazilian academic literature was used: the Drucker-Prager failure criterion. A foundation project of 145 posts of a transmission line was evaluated in the perimeter of the BA - 099 highway, and from this set, a single self-supporting tower was selected for the design through FEM. The nominal load on the selected tower considers severe weather conditions. The numerical simulation was performed by ANSYS software, while SPT tests and empirical correlations were used in the soil stress calculations. The main objective of this paper is to demonstrate that the use of computational modeling tools assists in design decisions regarding the integration of strategies and the establishment of performance and durability criteria for self-supporting towers. The total displacements and the rotation of the structure presented in the numerical modeling allowed the evaluation of the soil-structure interaction of the studied set.

Keywords: Finite Element Method; Soil-Structure; Transmission Lines; Concrete Poles.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a hipótese de um mundo sem eletricidade é praticamente inconcebível. Fundamentada em um cenário em constante crescimento social e econômico, a construção de torres metálicas ou de concreto armado para a transmissão de energia são obras indispensáveis da construção civil.

Segundo Amaral [1], a conexão entre as subestações e as redes de média e baixa voltagem é feita pelas linhas de transmissão de energia elétrica (LT). Esse “subsistema” é composto por torres, postes, cabos, para-raios e demais itens que se estendem por solos que possuem perfis geotécnicos completamente diversos. Para cada nova implantação, os engenheiros civis lidam com a complexidade e o desafio que é conceber e executar os projetos de fundações dessas estruturas.

No que se refere às solicitações geradas pelos carregamentos atuantes em torres autoportantes (postes de concreto), as análises de capacidade de carga que avaliam a interação solo-estrutura das fundações desses arranjos não devem ser analisadas de maneira simplória. Faz-se necessária a adoção de uma modelagem computacional e, geralmente, utiliza-se o método de elementos finitos para o devido dimensionamento dessas estruturas.

Em vista disso, o objetivo principal desse artigo é apresentar uma visão crítica de como devem ser considerados os sistemas de torres de linhas de transmissão e seus componentes em um projeto de fundações quando este é avaliado através do MEF. A presente análise foi realizada através do modelo constitutivo de Drucker-Prager. Ademais, este artigo visa difundir a importância da realização de uma análise rebuscada em uma obra habitual desse âmbito profissional e contribuir para uma nova ordem de discussão acerca do tema.

2. LINHAS DE TRANSMISSÃO E POSTES DE ENERGIA ELÉTRICA

As linhas de transmissão de energia (LT) são responsáveis pelo transporte da eletricidade produzida pelas grandes usinas geradoras. São compostas por grandes torres metálicas que através de cabos aéreos transferem energia elétrica sob a forma de alta tensão, com valores superiores a 100 kV. Para chegar até os consumidores de médio e pequeno porte, a conexão entre as Subestações de Transmissão e as indústrias, comércios e/ou residências é feita através dos postes de concreto armado ou protendido. O detalhamento dessa estrutura é apresentado na Figura 1.

Para a zona metropolitana de Salvador-BA, os postes de concreto armado para linhas de subtransmissão devem formar uma instalação completa de acordo com as exigências detalhadas na especificação técnica DIS-ETE-013 [23], assim como atender aos requisitos específicos correspondentes de projeto. Segundo o documento DIS-ETE-011 [22], para os fins do presente estudo de caso, destacam-se as seguintes especificações:

- As cargas indicadas nos diagramas fornecidos incluem os esforços gerados pelos equipamentos, cabos, isoladores e acessórios;
- As cargas indicadas devem ser básicas, sem considerar qualquer fator de segurança;
- Os postes devem resistir à combinação mais desfavorável de todas as ações atuantes na estrutura;
- O comprimento de engastamento é a distância entre a seção transversal extrema da parte inferior do poste e a seção onde ocorre o afloramento da fundação. Quando não é especificado no projeto, deve ser determinado conforme a Equação 1:

$$e = 0,1L + 0,6 \quad (1)$$

onde:

e = engastamento do poste (m);

L = comprimento do poste (m).

Segundo Kalaga e Yenumula [20] não existem padrões a serem adotados para a fundação destas estruturas em relação à rotação e limites de deflexão dos postes de concreto. Logo, os autores definem que a partir da somatória dos deslocamentos máximos e mínimos encontrados a partir de análises de modelagem numérica, o ângulo de rotação pode ser definido conforme a Equação 2:

$$\text{Arctg}\theta = (\epsilon/h) * 180/\pi \quad (2)$$

onde:

θ =ângulo de rotação do conjunto estrutural (°);
 ϵ =deslocamento total do sistema (mm);
 h =altura da ficha/engastamento do poste (mm).



Figura 1 – Detalhamento Típico das Estruturas em um Poste de Concreto (modificado: NEOENERGIA [24]).

Na fabricação e implantação dos postes de concreto, as normas vigentes que devem ser levadas em consideração para avaliar o desempenho dos componentes que compõem a estrutura são: cimento – conforme as normas ABNT NBR 5732 [5], NBR 5733 [6], NBR 5735 [7], NBR 5736 [8], NBR 5737 [10], NBR 11578 [9] ou NBR 12989 [11]; agregado – conforme as normas ABNT NBR 7211 [13]; água – conforme ABNT NBR 15900-1 [12]; barras, fios e cordoalhas de aço utilizado para a armadura – conforme ABNT NBR 7480 [15], NBR 7481 [4], NBR 7482 [17] ou NBR 7483 [14]; e concreto, dosagem e controle tecnológico – conforme ABNT NBR 12655 [16], além de avaliar a resistência característica do concreto (f_{ck}) que deve atender no mínimo a classe de agressividade ambiental II. Dois parâmetros de desempenho são avaliados neste artigo: a retilineidade do poste, que deve apresentar em qualquer trecho tolerância de até 0,25% de seu comprimento nominal e, a rotação da estrutura, que deve variar de 1 a 3°.

2.1 Carregamentos atuantes no poste e fundação

Para fins de cálculo estrutural pode-se dizer que as cargas que atuam nas fundações são essencialmente derivadas dos esforços que atuam nos próprios postes. A origem e a natureza dessas cargas são as mesmas, logo, é rara a ocorrência de situações em que se têm outros carregamentos atuando diretamente nas fundações. Segundo Chaves [18], pode-se exemplificar essas ações adicionais como sendo o empuxo do solo ou o impacto de objetos e veículos.

Para determinar o grau de exigência e tolerância relativo ao desempenho de um elemento de fundação de um poste de transmissão, é de suma importância a combinação dessas cargas atuando convenientemente entre si, a fim de se obter um cenário de cálculo em que as solicitações utilizadas no projeto sejam aquelas resultantes das piores hipóteses de combinação desses valores.

Conforme a NBR 5422 [3], que discorre sobre o projeto de linhas aéreas, as cargas verticais que devem ser consideradas são provenientes do peso próprio da torre (peças usualmente pré-moldadas de concreto armado), dos isoladores, das ferragens e equipamentos em geral, para-raios e, dos cabos condutores. Os valores dessas cargas devem ser somados entre si ao serem utilizados no dimensionamento da fundação, já que essas praticamente não variam durante a vida útil da LT, ou seja, devem ser tratadas como sendo uma única ação permanente.

A avaliação da ação do vento merece atenção especial ao tratar-se dessa classe de projeto de fundação. Sendo uma carga dinâmica, deve ser tida atuando horizontalmente. Por sua vez, deve ser considerada agindo no sentido que gerar a condição mais severa de carregamento. Segundo Zin [28], essa solicitação gera na estrutura valores de momento fletor que podem vir a tombar a torre, pois geram grandes solicitações de tração nas fundações (tombamento). Algumas das cargas atuantes na estrutura do poste estão detalhadas na Figura 2.

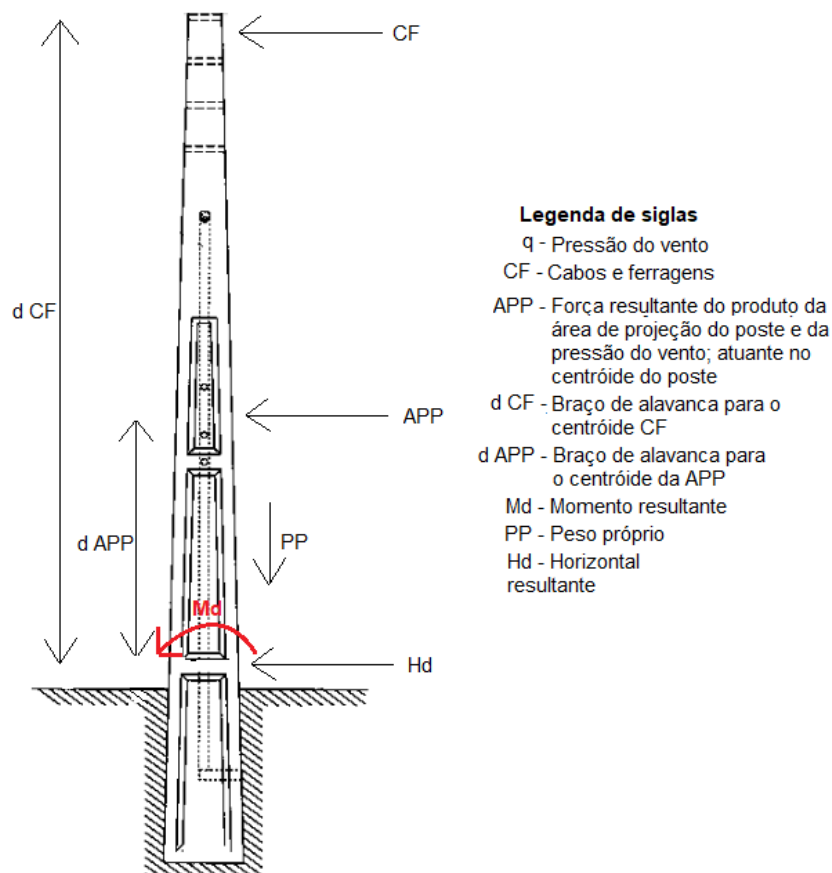


Figura 2 – Cargas Resultantes que Atuam na Fundação do Poste de Concreto (modificado: UTILITY STRUCTURES [27]).

2.2 Modelagem Numérica (Critério de Drucker-Prager)

Segundo Silva [26], na engenharia como um todo, o Método de Elementos Finitos deve ser utilizado em problemas em que são considerados: o comportamento complexo do solo (rigidez não linear, endurecimento, anisotropia) ou a mudança comportamental (melhoria do solo, consolidação); as condições hidráulicas complexas; geometria incomuns; interação solo-estrutura e análise de forças internas; cargas complexas; e, os efeitos da sequência e método de construção. A complexidade associada aos projetos de fundações para torres autoportantes de linhas de transmissão faz com que a utilização deste método seja de suma importância nas análises dessas estruturas.

Silva [26] apresenta que o MEF parte do princípio de que infinitas variáveis desconhecidas de um sistema podem ser estimadas pela interpolação dos valores calculados em um número finito de pontos discretos, com comportamento bem definido. Para a resolução desse problema, o equilíbrio de forças, a compatibilidade dos deslocamentos e as relações constitutivas dos materiais (tensão-deformação) devem ser satisfeitas.

Um requisito fundamental para a avaliação de estruturas como postes de concreto para linhas de transmissão é a utilização de relações constitutivas (modelos constitutivos), que devem ser capazes de simular o comportamento tensão \times deformação da torre. O modelo constitutivo mais comum e utilizado na engenharia é o Critério de Ruptura ou Modelo Constitutivo de Mohr-Coulomb, mas ao tratar de outros modelos constitutivos descritos na literatura, o conhecimento sobre o comportamento estrutural dessas estruturas ainda não é extenso.

Para o presente trabalho, a avaliação das interações solo-estrutura é realizada por meio do modelo constitutivo de Drucker-Prager (DP), definido em Desai e Siriwardane [19]. O critério de ruptura de Drucker-Prager define a tensão de escoamento (τ^y) de um material usando as invariantes de Cambridge p e q . O primeiro invariante (p) é o traço de um tensor de tensões (que representa a soma dos elementos da diagonal de uma matriz de tensões). O segundo invariante (q) refere-se a parte desviadora do tensor de tensões cisalhantes. A partir desses parâmetros, a tensão de escoamento define um valor de tensão acima do qual começa a existir movimento (ruptura) do material ou estrutura.

No modelo constitutivo de Mohr-Coulomb, cantos vivos são observados na função do espaço octaédrico das tensões principais, e esses cantos vivos implicam em singularidades nas funções de fluência do material (POTTS E ZDRAVKOVIC) [25]. Essas singularidades podem ser tratadas usando o modelo de Drucker-Prager, pois a superfície de plastificação definida por esses autores envolve a superfície de Mohr-Coulomb, conforme apresentado na Figura 3. Entretanto, o critério de Drucker-Prager perde a influência do terceiro invariante do tensor de tensões e este critério sobrestima a ruptura em relação ao de Mohr-Coulomb.

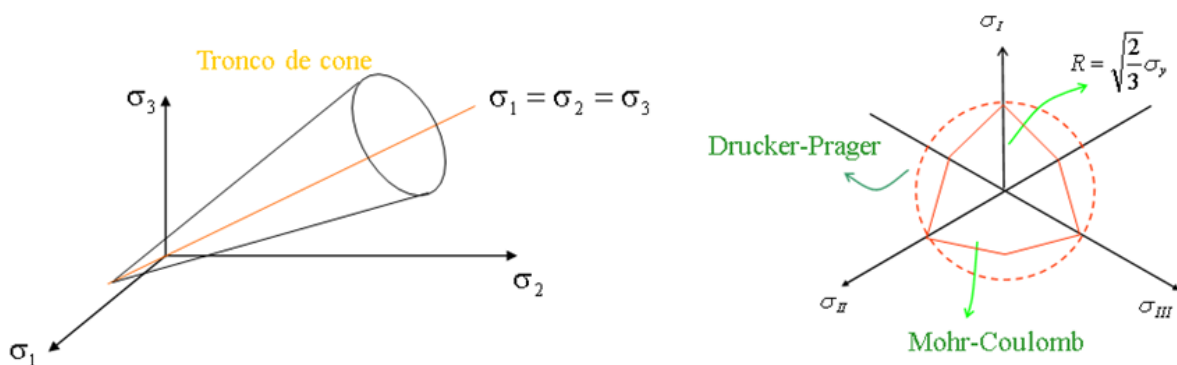


Figura 3 – Critérios de Ruptura de Materiais Mohr-Coulomb e Drucker-Prager.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este escopo analisa um poste pertencente ao traçado da LT que foi implantado no distrito de Costa de Sauipe, localizado no município de Mata de São João-BA, distando aproximadamente 98,0 quilômetros da capital baiana (Figura 4). Os

relatórios de sondagem da respectiva obra, o projeto executivo de dimensionamento da fundação em questão e o detalhamento da manilha de concreto adotada também foram utilizados e estão disponibilizados em Anunciação e Carneiro [2].

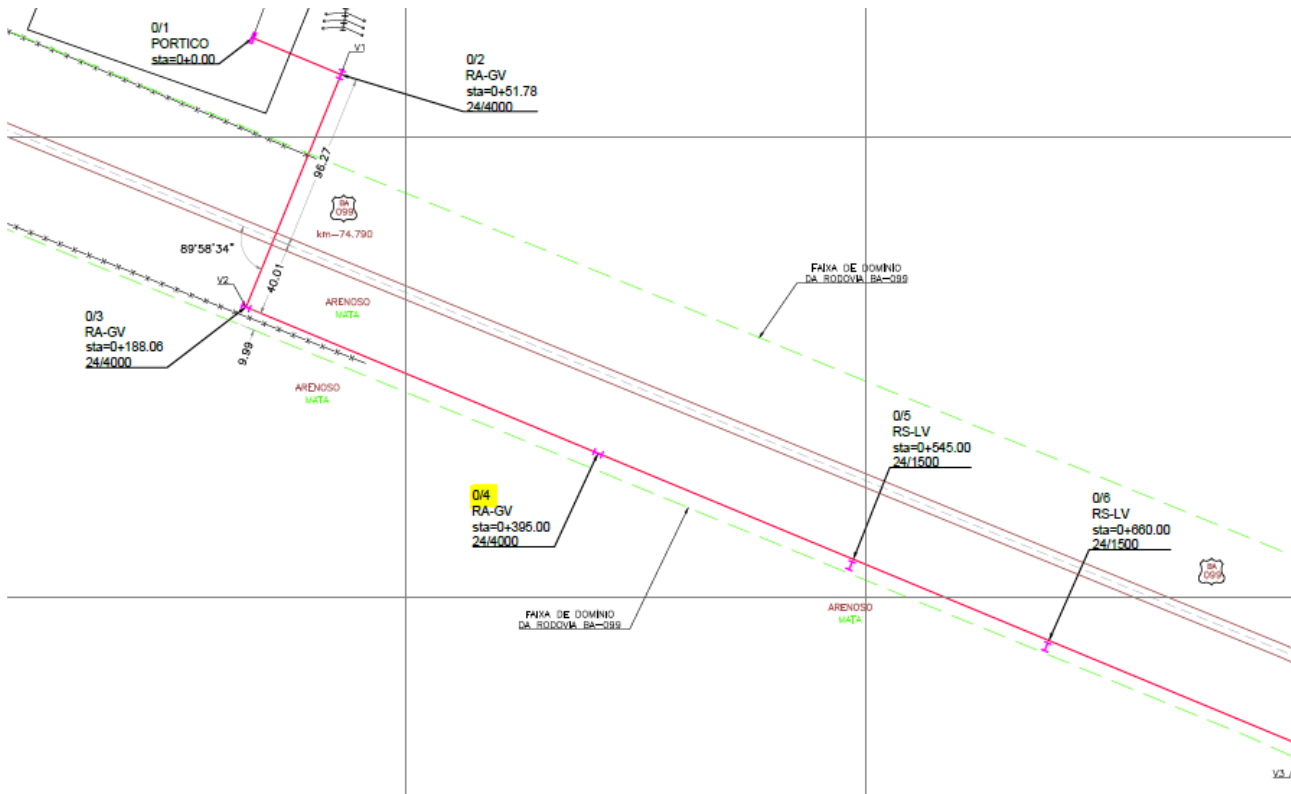


Figura 4 – Traçado das Torres de Linha de Transmissão.

O poste selecionado para o desenvolvimento do estudo apresenta 24,0 metros de altura e resistência nominal de 4.000 kgf. Possui as dimensões de base e de topo, em metros, de 1,064x0,77 e de 0,392x0,29, respectivamente. Essa carga e as dimensões da seção da estrutura foram extraídas da norma técnica NOR.DISTRIBU-ENGE-0067 [21].

Com as informações geotécnicas obtidas de boletins de sondagens SPT e características do poste adotado, deu-se início à modelagem da fundação da estrutura no *software* ANSYS. Foram levados em conta a utilização de apenas dois materiais: o concreto e o solo local de implantação do conjunto.

Para o concreto utilizou-se a base de dados disponíveis no próprio programa, como o módulo de elasticidade (ou módulo de Young) e massa específica. Para o solo foram inseridos os mesmos parâmetros, além do coeficiente de Poisson e outros três fatores do modelo de DP, a saber: resistência à compressão axial, resistência à tração axial e resistência à compressão biaxial. Para determinar a capacidade de carga do solo, esses valores foram obtidos de correlações da literatura e métodos probabilísticos. Para os dados de entrada do modelo, correlações adicionais fizeram-se cautelosamente necessárias através de formulações empíricas.

Através da análise tátil-visual da amostra de solo e do N_{SPT} de grandeza 3, foi verificado que se trata de um solo arenoso. A partir de correlações empíricas entre o N_{SPT} e parâmetros geotécnicos de resistência do solo apresentados em Anunciação e Carneiro [2], obteve-se a seguinte caracterização do solo de fundação: massa específica ($\rho_s = 1700 \text{ kg/m}^3$), coesão ($c = 0,001 \text{ MPa}$), ângulo de atrito ($\varphi = 25^\circ$), módulo de elasticidade ($E = 20 \text{ MPa}$) e coeficiente de Poisson ($\nu = 0,3$).

Para determinar os parâmetros do modelo de DP foram utilizadas correlações entre a capacidade de carga do solo e sua coesão. Para elucidar o valor da resistência à compressão axial foram realizadas quatro estimativas de capacidade de

carga, através das equações empíricas apresentadas em Anunciação e Carneiro [2]. Para definir qual dos valores encontrados poderia ser utilizado de maneira correlata como o valor de resistência à compressão axial do solo, optou-se pela escolha do menor valor, baseando-se em um cenário de dimensionamento a favor da segurança da estrutura.

Com a finalidade de simplificar a verificação e facilitar o processamento dos dados no programa, foi adotada uma geometria uniforme para toda a estrutura. Os valores da base da peça estendem-se por todo o comprimento longitudinal do poste de concreto armado, conforme exibido na Figura 5. O comprimento de engastamento determinado para o adequado desempenho geotécnico da fundação foi da ordem de 3,0 m (Equação 1). Como forma de amenizar a rotação da estrutura, inseriu-se como reforço circular no topo da manilha um anel de concreto armado, com 0,5 m de profundidade e 3,0 m de diâmetro. Por fim, as dimensões da manilha de concreto foram pré-definidas em 2,5 m de altura e 2,0 m de diâmetro.

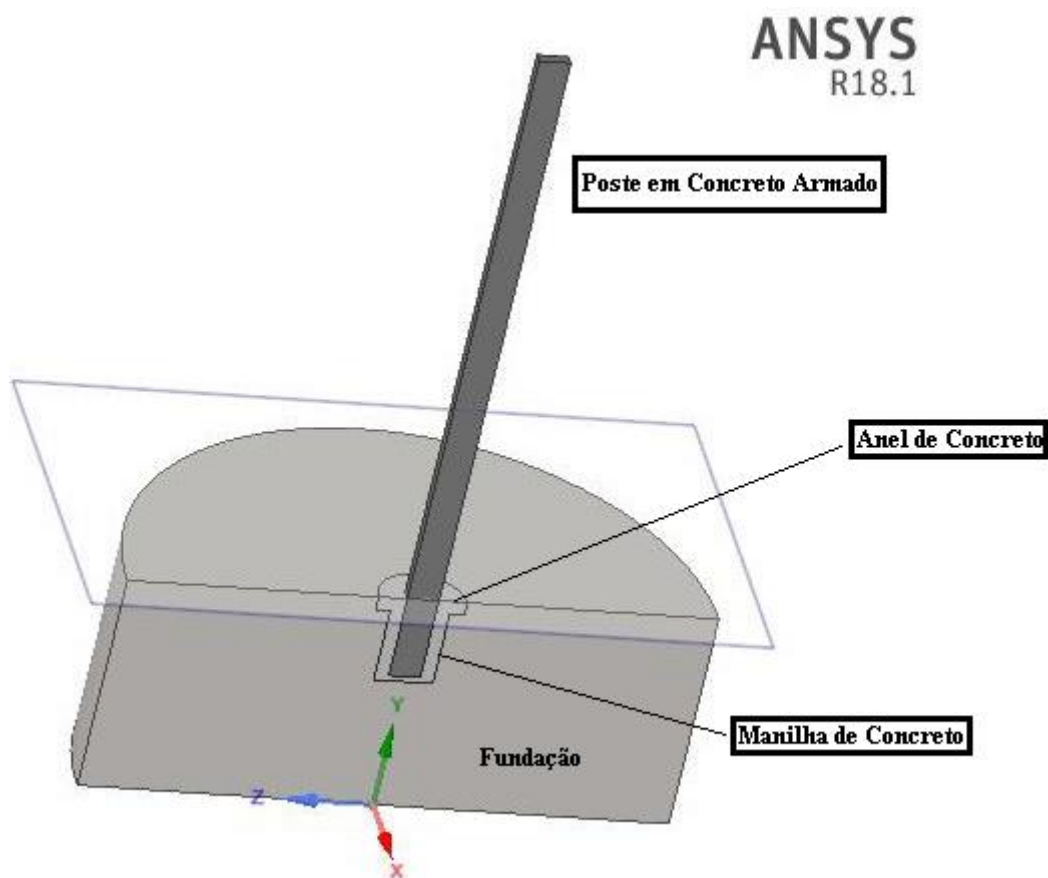


Figura 5 – Detalhamento do Poste, da manilha de concreto armado e Representação da Fundação.

O refino da malha (Figura 6) utilizado na modelagem numérica consiste na seguinte geometria triangular: 750 mm adotado para a região do sistema que abrange o comprimento de engastamento da manilha, que é a zona de maior deformação do conjunto e por fim exige uma malha mais refinada e maior cautela no dimensionamento e, para o restante do conjunto, uma malha de 1000 mm, que apesar de ser menos refinada, atende as análises realizadas.

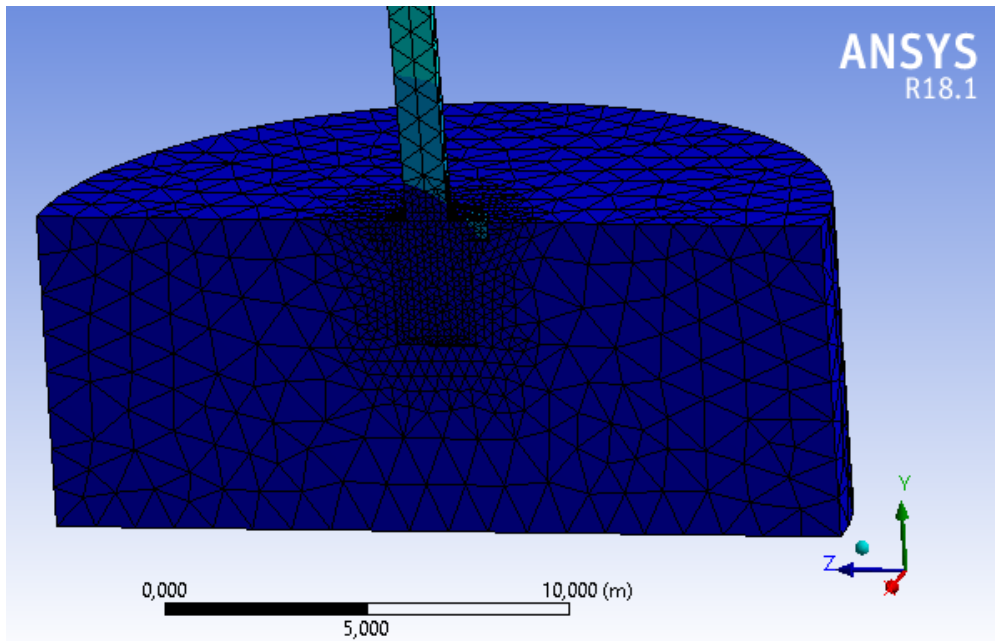


Figura 6 – Detalhamento da Malha Utilizada na Modelagem Numérica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados o deslocamento do conjunto poste-fundação em relação ao solo e à sua capacidade de carga. Dessa forma, uma solicitação de tração no topo do poste e o peso próprio da estrutura foram as cargas consideradas para realizar o dimensionamento.

A análise pelo método dos elementos finitos foi necessária para a definição dos pontos que poderiam sofrer a maior deformação tanto no conjunto como no solo e, simultaneamente, quanto o poste juntamente com a fundação adotada em concreto armado poderiam se deslocar ao serem solicitados, considerando a pior hipótese de cargas. As deformações obtidas são apresentadas nas Figura 7 e Figura 8.

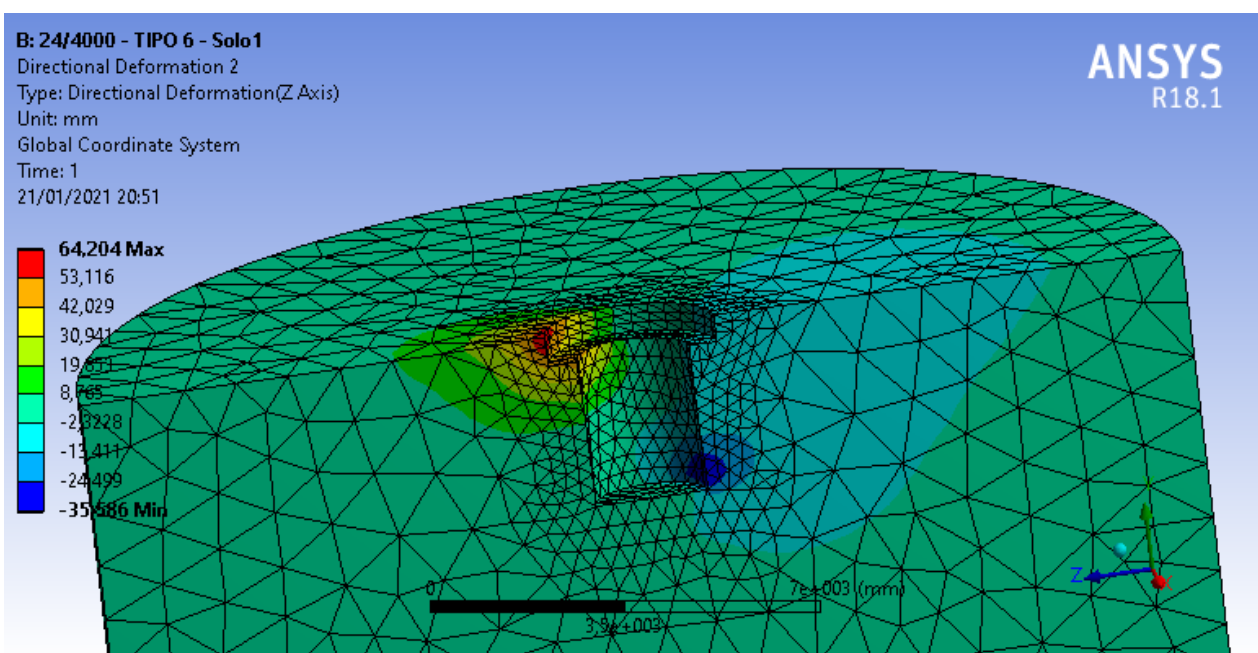


Figura 7 – Deformação da Malha e Deslocamento do Conjunto Obtidos pelo Modelo Numérico.

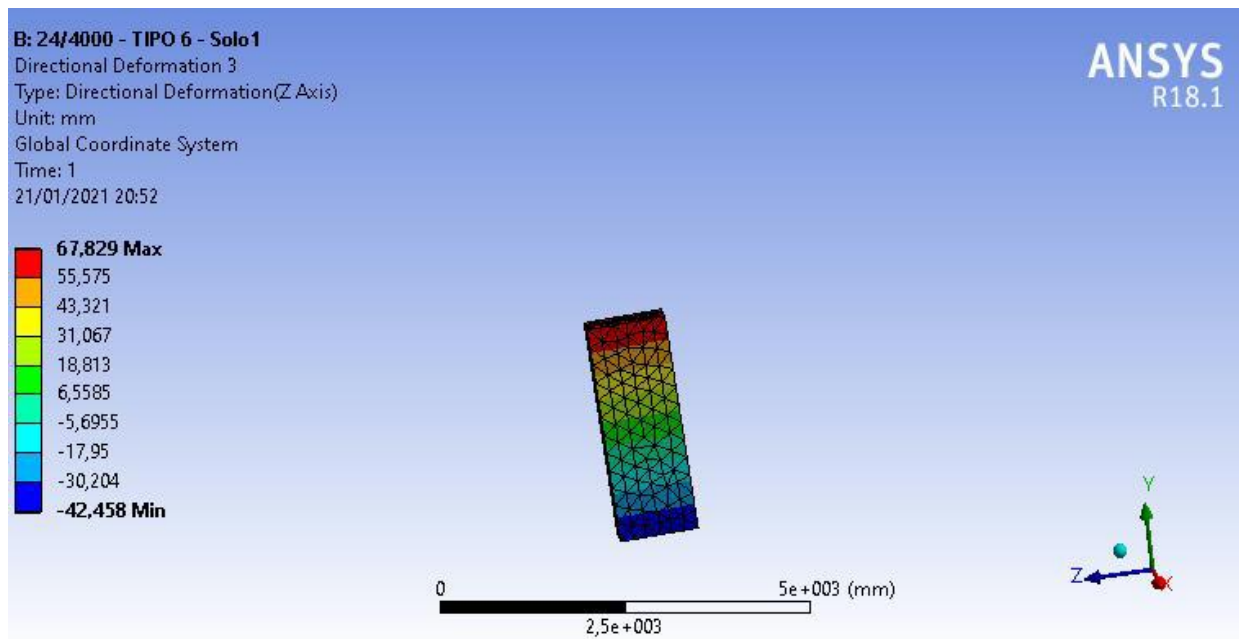


Figura 8 – Deformação da Malha e Deslocamento do Engastamento do Poste.

É possível observar na Figura 7 a complexidade ao se avaliar a interação solo-estrutura, visto que as deformações do solo na base da manilha de concreto são mínimas, comprovando que a fundação não possui sollicitação de compressão relevante. Enquanto no contato anel-manilha de concreto e no engastamento do poste, os deslocamentos são considerados elevados, aproximadamente 100 mm. Esse fato ocorre devido à sollicitação de carregamento aplicado na estrutura.

Em relação ao desempenho da estrutura, em termos de retlineidade, o limite de tolerância é de 0,25% do comprimento nominal do poste. Para esse caso, o valor máximo seria de 60 mm. Ao passo que o valor encontrado para a modelagem numérica foi de 100 mm, a segurança da estrutura ficaria possivelmente comprometida. Para o valor de rotação do poste, que foi calculado a partir do deslocamento total, o valor encontrado foi de 2,1°, que corresponde ao intervalo permitido pela referência citada (1 a 3°).

5. CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento do estudo demonstrou-se o processo de avaliação de um método de dimensionamento por meio de elementos finitos, utilizando o modelo constitutivo de Drucker-Prager. Apesar da escassez de referências sobre a fundação de postes de concreto armado, a modelagem numérica apresentou resultados de análises considerados satisfatórios.

Através do auxílio da ferramenta computacional ANSYS e das correlações empíricas utilizadas, tornou-se possível a obtenção dos resultados que permitiram avaliar o desempenho do sistema, como os deslocamentos totais do conjunto e o ângulo de rotação da estrutura. Ademais, por meio da inserção da manilha e do anel de concreto armado na modelagem computacional, averiguou-se que esses dispositivos contribuíram para amenizar a rotação do poste.

Os resultados de deslocamentos totais estão acima do recomendado pelas normas supracitadas, comprometendo assim o desempenho em termos de retlineidade da estrutura. Entretanto, como o modelo de Drucker-Prager geralmente sobrestima o modelo de Mohr-Coulomb e a avaliação com este último critério ainda será desenvolvida, até o presente momento não é possível afirmar se esse valor comprometerá ou não o conjunto estrutural avaliado neste artigo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, à Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana, ao CNPQ e à Universidade de Brasília.

REFERÊNCIAS

- [1] AMARAL, R. C. **Dimensionamento de fundações para torres metálicas de linha de transmissão de energia elétrica**. Monografia, Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 157. 2015.
- [2] ANUNCIACÃO, M. C. D.; CARNEIRO, G. R. **Aplicação do método dos elementos finitos na análise da interação da fundação de linhas de transmissão com o solo**. Monografia, Curso de Engenharia Civil, Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana, Feira de Santana, p. 66. 2021.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5422: **Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica**. Rio de Janeiro. 1985.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7481: **Tela de aço soldada – Armadura para concreto**. Rio de Janeiro. 1990.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5732: **Cimento Portland comum**. Rio de Janeiro. 1991.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5733: **Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro. 1991.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5735: **Cimento Portland de alto-forno**. Rio de Janeiro. 1991.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5736: **Cimento Portland pozolânico**. Rio de Janeiro. 1991.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578: **Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro. 1991.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5737: **Cimento Portland resistente à sulfatos**. Rio de Janeiro. 1992.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12989: **Cimento Portland branco**. Rio de Janeiro. 1993.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900-1: **Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro. 2001.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro. 2005.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7483: **Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido - Especificação**. Rio de Janeiro. 2005.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação**. Rio de Janeiro. 2008.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2015.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7482: **Fios de aço para estruturas de concreto protendido - Especificação**. Rio de Janeiro. 2016.

- [18] CHAVES, R. A. **Fundações de torres de linhas de transmissão e de telecomunicação**. Monografia, Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 214. 2004.
- [19] DESAI, Chandrakant S.; SIRIWARDANE, Hema J. **Constitutive Laws for Engineering Materials: With Emphasis on Geologic Materials**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1984.
- [20] KALAGA, Sriram; YENUMULA, Prasad. **Design of Electrical Transmission Lines: Structures and Foundations**. London: CRC Press. 2017.
- [21] NEOENERGIA. **NOR.DISTRIBU-ENGE-0067: Norma técnica de projeto de linhas de subtransmissão rural de 72,5kV**. Bahia, 2017.
- [22] NEOENERGIA. **DIS-ETE-011: Especificação técnica de postes de concreto armado para linhas de subtransmissão**. Bahia, 2019.
- [23] NEOENERGIA. **DIS-ETE-013: Especificação técnica de postes de concreto armado para linhas de subtransmissão**. Bahia, 2019.
- [24] **NEOENERGIA**, 2021. Disponível em: <<https://www.neoenergia.com/pt-br/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/neoenergia-compartilha-principais-informacoes-funcionamento-poste-importancia-manutencao.aspx>>. Acesso em 11 de maio de 2022.
- [25] POTTS, David M.; ZDRAVKOVIC, Lidija. **Finite element analysis in geotechnical engineering – Theory**. London: Thomas Telford, 1999.
- [26] SILVA, A. R. C. **Modelagem computacional via MEF da interação solo-estrutura de sistemas eólicos**. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, p. 134. 2022.
- [27] **UTILITY STRUCTURES INC.**, 2020. Disponível em: < <https://www.utilitystructures.com/pdf/poles/USI-technical-information.pdf> >. Acesso em 07 de junho de 2020.
- [28] ZIN, R. V. **Fundações para torres metálicas autoportantes de telecomunicações: aspectos técnicos e construtivos**. Monografia, Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p. 82. 2014.

ÁREA TEMÁTICA: Desempenho e Durabilidade

CONFEÇÃO DE ARQUIVO DE CLIMA INTERIOR PARA USO EM SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA PARA O ESTUDO DE DEGRADAÇÃO DE COMPONENTES DE FACHADA

RAMOS, Ana Lin¹; BAUER, Elton²

¹ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, analin.ramos@gmail.com, ORCID 0000-0002-1804-148X

² Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, elbauerlem@gmail.com, ORCID 0000-0003-4559-874X

RESUMO

O uso da simulação higrotérmica no estudo da degradação se justifica pelos transportes de água e calor estarem ligados aos principais mecanismos de degradação em materiais cimentícios e cerâmicos. O uso dessa ferramenta está condicionado ao emprego de dados de entrada adequados e que reflitam a realidade. Nesse sentido, objetiva-se investigar o impacto da utilização de dados medidos in situ de temperatura e umidade relativa do ar interior de uma edificação nos resultados da simulação higrotérmica, principalmente no que se refere às variações de temperatura e teor de umidade de uma parede de fachada. Para tanto, elabora-se um arquivo climático utilizando dados de medição in situ medidos no período de 10/10/2019 a 31/01/2020 em uma residência localizada na cidade de Brasília-DF. Os resultados mostram alterações dos perfis produzidos em todas as camadas. Logo, a utilização de dados climáticos adequados apontam para uma maior precisão na simulação higrotérmica para fins de estudo da degradação. Como contribuição de pesquisa se busca comparar o comportamento higrotérmico da parede de fachada utilizando os dados medidos in situ e os modelos de cálculo para parâmetros de clima interior disponibilizados pelo programa WUFI Pro para a cidade de Brasília.

Palavras-chave: Degradação; Clima interior; Simulação Higrotérmica.

ABSTRACT

The use of hygrothermal simulation in the degradation study is justified by the fact that water and heat transport are linked to the main degradation mechanisms in cementitious and ceramic materials. The use of this tool is conditioned to the use of adequate input data that reflect reality. In this sense, the aim is to investigate the impact of the use of data measured in situ of temperature and relative humidity of the interior air of a building in the results of the hygrothermal simulation, mainly with regard to the variations in temperature and humidity content of a wall of facade. To this end, a climate file is prepared using in situ measurement data measured from 10/10/2019 to 21/31/2020 in a residence located in the city of Brasília-DF. The results show changes to the profiles produced on all layers. Therefore, the use of adequate climatic data points to a greater precision in the hygrothermal simulation for the purpose of studying degradation. As a research contribution, it seeks to overcome the limitations of the calculation models for indoor climate parameters adopted by the WUFI Pro program for the city of Brasília-DF.

Keywords: Degradation; Indoor climate; Hygrothermal Simulation.

1. INTRODUÇÃO

A simulação higroscópica é uma ferramenta computacional que tem se mostrado útil para o estudo da degradação em fachadas [1] [2] [3]. Através dessa ferramenta é possível quantificar os agentes de degradação e obter os fluxos de água e temperatura que podem ser associados a mecanismos específicos de degradação. Os resultados da simulação permitem avaliar o desempenho da fachada quanto a sua condição de exposição e quanto ao seu comportamento térmico e higroscópico. Em abordagens mais recentes, relaciona-se a incidência dos agentes climáticos com a degradação medida a partir de metodologias de quantificação [4] [5].

Apesar da grande aplicabilidade, o sucesso da simulação e a obtenção de resultados precisos estão condicionados ao conhecimento apropriado dos dados de entrada [6]. Estes incluem dados das propriedades higroscópicas e térmicas dos materiais, dos arquivos climáticos que contêm as condições climáticas interiores e exteriores da edificação e da definição da configuração do elemento estudado. Logo, é necessário que esses dados sejam adequados e representativos da realidade.

Dentre os dados de entrada destacam-se as definições de clima interior, as quais contêm dados de temperatura e umidade do ar que caracterizam o clima do interior da edificação. Em análises mais detalhadas, que consideram o incremento de umidade devido à chuva e a variações advindas de fontes internas de umidade, os dados de temperatura e umidade relativa do ar passam a ser fundamentais, assim como os parâmetros que os controlam. A exemplo, destaca-se a ocorrência de condensação de vapor de ar gerada por altas taxa de ocupação e não por água da chuva [7].

As escolhas que definem o clima interno devem ser feitas de acordo com as condições do ambiente, de uso e ocupação em particular. Nesse contexto, o programa de simulação higrotérmica WUFI Pro permite a utilização de arquivos climáticos ou de modelos para estabelecer as condições interiores a partir de um arquivo climático, os quais são baseados nas normas [8] [9] [10]. No entanto, estes modelos de cálculo são simplificados e apresentam equações com limitações para ajustes de parâmetros importantes como taxas de renovação de ar e produção de umidade dentro das edificações [7].

A confecção do arquivo climático de clima interior pode ser feita a partir da definição de um ano climático representativo baseado em dados coleados in situ ou ainda através de simulação energética utilizando programas tais como o Energy Plus [7], neste último considerando condições padrões pré-estabelecidas. Apesar disso, a utilização de dados adequados de clima interior em simulação higrotérmica para estudo de degradação se constitui em uma lacuna de pesquisa. Nesse sentido, objetiva-se investigar o impacto da utilização de dados medidos in situ de temperatura e umidade relativa do ar interior de uma edificação nos resultados da simulação higrotérmica, principalmente no que se refere às variações de temperatura e teor de umidade de uma parede de fachada.

2. MÉTODOS

2.2. Coleta de dados

Para a elaboração do arquivo climático foram utilizados dados de medição in situ medidos no período de 10/01/2019 a 31/01/2020 em uma residência localizada na cidade de Brasília-DF. Para a coleta de dados, utilizou-se um par datalogger de modelo HMS-176, o qual registra temperaturas de -40°C a 70°C com precisão de $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e umidades de 0% a 100% UR com precisão de $\pm 3\%$. Cada datalogger foi instalado próximo à face interior das paredes de fachada, sendo estes alternados a cada 10 dias aproximadamente, como mostra a Figura 1.

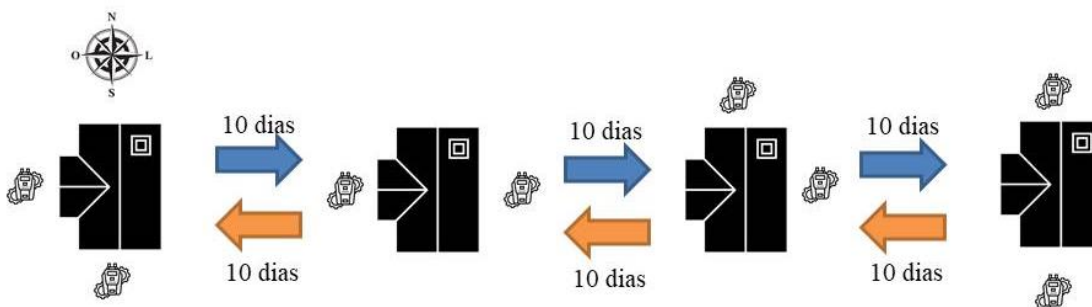


Figura 1- Posições alternadas do datalogger de acordo com a orientação.

Os dados colhidos das quatro orientações apresentaram valores aproximados, por isso foram utilizados para compor um único arquivo climático contendo dados de temperatura e umidade do ar. O arquivo possui formato WAC, compatível com o programa de simulação WUFI.

2.3. Definição de clima interior na simulação higrotérmica

Para as simulações realizadas, o clima interior foi gerado a partir dos dados medidos in situ. Justifica-se o procedimento metodológico adotado considerando que na simulação higrotérmica aplicando o WUFI Pro 6.5, é possível definir o clima interior da edificação através de um arquivo climático ou através de definições de modelos estabelecidos por normas específicas; esta última opção é frequentemente utilizada.

A exemplo disso, a norma EN 15026 “Hygrothermal performance of building components and building elements - Assessment of moisture transfer by numerical simulation” define a umidade relativa e temperatura do ar interior pelo clima exterior selecionado a partir de uma função de transferência específica. Para temperatura, a função utilizada pela norma EN 15026 define que para as temperaturas externas abaixo de 10°C, a temperatura interna será mantida em 20°C por aquecimento. Já para temperaturas externas mais altas, a temperatura interna aumenta linearmente, mas não acima de 25°C. Para a umidade considerando a produção de umidificação normal, a função é baseada na suposição de que quando as temperaturas externas estão abaixo de -10°C, a umidade interna assume um valor mínimo de inverno (30%). Para temperaturas externas mais altas, a umidade interna aumenta linearmente e para temperaturas externas acima de 20°C, a umidade interna assume um valor máximo de verão (60%).

2.4. Simulação Higrotérmica

A simulação higrotérmica foi realizada no programa WUFI Pro 6.5 para avaliar o impacto da utilização do arquivo climático confeccionado com a temperatura e a umidade do componente de fachada. O programa permite a entrada de dados de período de simulação, configuração, orientação e inclinação do sistema construtivo, coeficientes de chuvas incidentes e de transferência à superfície e condições iniciais de temperatura e umidade relativa e condições climáticas interiores e exteriores [11].

O período de simulação foi de um ano de 01/01/2019 a 01/01/2020. Para a definição das condições climáticas exteriores são foram utilizados os dados do arquivo Typical Meteorological Year (TMY) da base EPW/ANTAC [12] referente à cidade de Brasília. Na simulação, analisou-se apenas a orientação Norte da edificação estudada, uma vez que esta se apresenta como a mais crítica quando associados os efeitos da chuva dirigida e a incidência de radiação solar no caso da cidade estudada [3]. O sistema construtivo simulado é composto por: argamassa de emboço, bloco cerâmico e argamassa interna. A Figura 2 mostra o sistema modelado no programa.



Figura 2 - Sistema construtivo avaliado: (1) argamassa externa/emboço; (2) bloco cerâmico; (3) argamassa interna.

As propriedades dos materiais componentes das camadas do sistema estudado são apresentadas na Tabela 1 e foram obtidas previamente através de ensaios de massa específica aparente, porosidade, permeabilidade ao vapor de água para o cálculo do fator de resistência à difusão de vapor de água; coeficiente de absorção de água ou coeficiente de capilaridade; curva higroscópica. Esses ensaios são descritos no Relatório Interno do LEM-UnB [13]. Como resultado da simulação, obteve-se perfis de temperatura e umidade da parede de fachada. Para os objetivos aqui propostos, são apresentados e discutidos três horários distintos do dia: 7h, 13h e 19h.

Tabela 1 - Resumo das propriedades dos materiais.

| Propriedades | Bloco Cerâmico | Argamassa |
|---|-------------------------|------------------------|
| Massa específica aparente (kg/m ³) | 578 | 1830 |
| Porosidade (m ³ /m ³) | 0,486 | 0,2604 |
| Permeabilidade ao vapor de água (kg/(m.s.Pa)) | 8,38. 10 ⁻¹² | 7,9. 10 ⁻¹² |
| Coefficiente de absorção de água (kg/m ² .√s) | 0,09 | 0,089 |

3. RESULTADOS

3.1. Comparativo de um ano de dados coletados e dados do WUFI (EN 15026)

Os dados de umidade e temperatura do ar coletados in situ são confrontados com os dados fornecidos pela simulação do WUFI segundo a EN 15026 na Figura 3. Ao longo do ano, nota-se que há uma maior linearidade nos valores obtidos pela EN 15026, enquanto os dados coletados apresentam maiores oscilações. O modelo da EN15026 apresenta-se de forma simplificada e não acompanha as variações transientes de temperatura e umidade do ar no interior da edificação, já que os parâmetros como taxas de renovação do ar e produção de umidade interna são condições fixas pré-estabelecidas e delimitadas nos dados de entrada [7]. Enquanto no modelo da EN 15026 a temperatura varia entre 23°C e 25°C e umidade entre 58% e 60%, os dados coletados apresentam valores máximos e mínimos que variam entre 18,49°C e 33,10°C para temperatura e 83,15% e 13,64% para umidade relativa do ar.

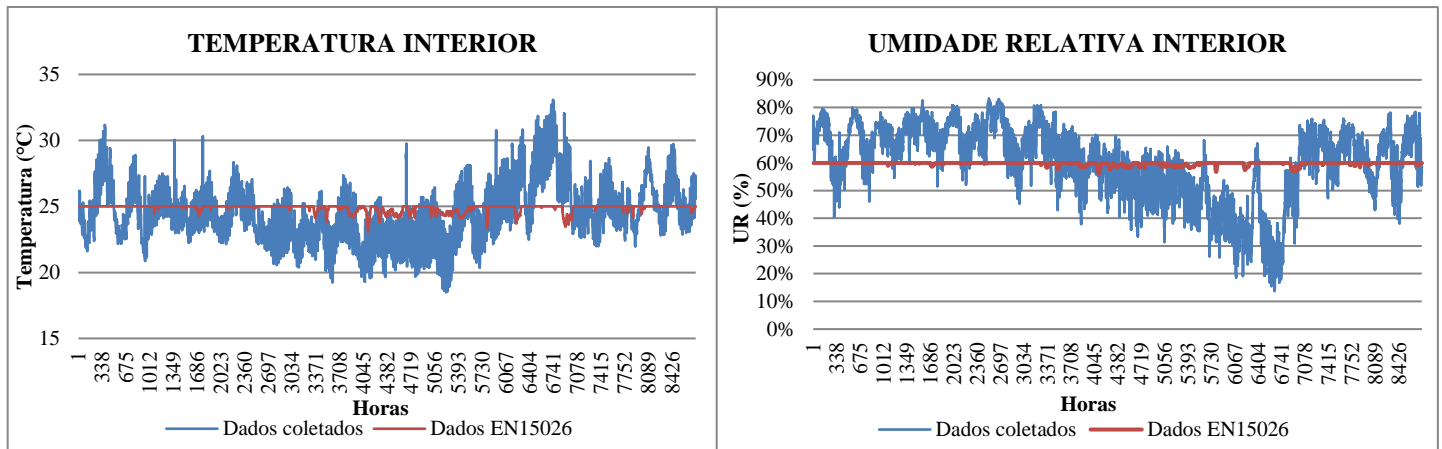


Figura 3 - Dados horários de umidade e temperatura do ar interior ao longo de um ano: comparação entre os dados coletados e dados do WUFI (EN 15026).

As variações máximas entre os valores de temperatura e umidade relativa do ar para cada mês são apresentadas na Tabela 2. O mês de setembro e outubro apresentaram os maiores valores de temperatura (33,10°C) e menor umidade relativa do ar interior (13,64%), respectivamente. Logo, também apresentaram as maiores variações de temperatura e umidade se comparados aos dados obtidos pela EN 15026. Em contrapartida, o mês de novembro é o que mais se aproxima dos valores fixados pela norma. Dessa forma, para de avaliar o impacto da utilização dos dados coletados na simulação higrotérmica, optou-se pela análise dos perfis de umidade e temperatura da parede no dia com maior variação encontrada (04 de outubro).

Tabela 2 - Variação máxima de temperatura e umidade entre os dados coletados e os dados do WUFI (EN 15026).

| Mês | Jan | fev | mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura (°C) | 6,19 | 5,04 | 5,30 | 4,43 | 5,77 | 5,54 | 5,15 | 6,07 | 6,86 | 8,28 | 3,66 | 4,75 |
| UR (%) | 20 | 18 | 22 | 23 | 21 | 22 | 29 | 34 | 41 | 46 | 16 | 22 |

3.2. Perfil de Umidade e Temperatura

Os perfis de umidade apresentados na Figura 4 mostram o teor de umidade ao longo da espessura da parede de fachada. Nota-se que em todos os horários avaliados houve um rebaixamento da curva quando se compara a simulação realizada com os dados coletados. Entre as três regiões da parede a mais afetada é a região da argamassa interna, atingindo um decréscimo de até 15,6% às 7h. No bloco cerâmico o teor de umidade sofre uma alteração máxima de 4,85% às 19h. Destaca-se que a simulação realizada com dados de clima interior coletados in situ também impacta os resultados do teor de umidade da argamassa interna, principalmente às 7h, atingindo uma redução de 6,71% em relação à simulação do WUFI realizada com o modelo da EN15026.

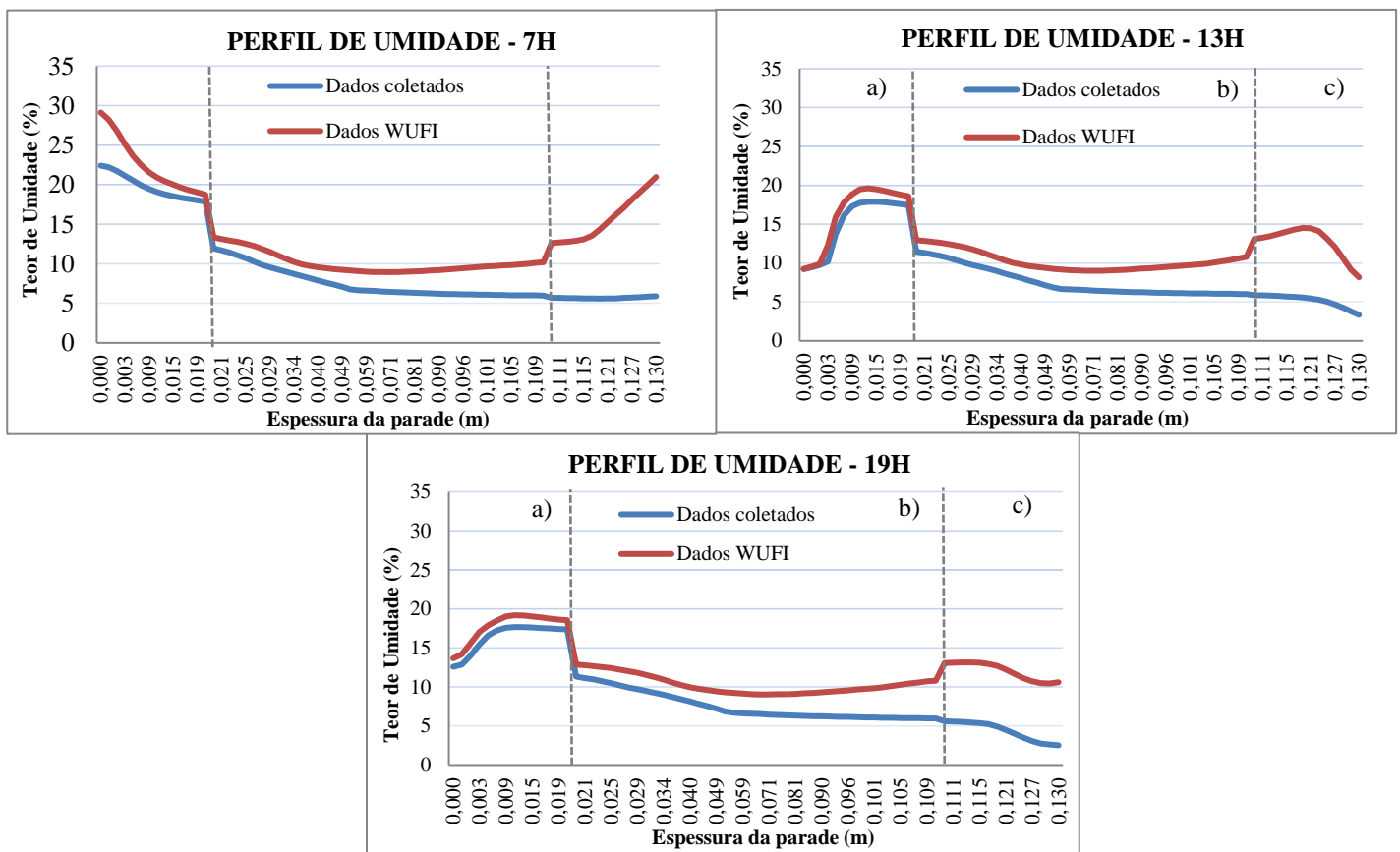


Figura 4 - Perfis de umidade da parede de fachada às 7h, 13h e 19h: a) argamassa externa; b) bloco de cerâmica; c) argamassa interna.

Os perfis de temperatura, Figura 5, mostram a evolução da temperatura ao longo da espessura da parede da fachada. Nota-se, para os três horários analisados, que na simulação com dados coletados são alcançadas temperaturas mais elevadas nas camadas de argamassa interna e bloco cerâmico. Em contrapartida, não há impacto na temperatura da camada de argamassa externa. Na camada de argamassa interna há uma diferença de temperatura de até 7,73°C às 19h entre os casos estudados. Já na camada de bloco cerâmico a maior diferença atingida é de 7,25°C também às 19h. Destaca-se também a diferença de temperatura entre as faces do bloco cerâmico às 7h (5,49°C) e às 19h (6,97°C) apresentadas na simulação com os dados coletados.

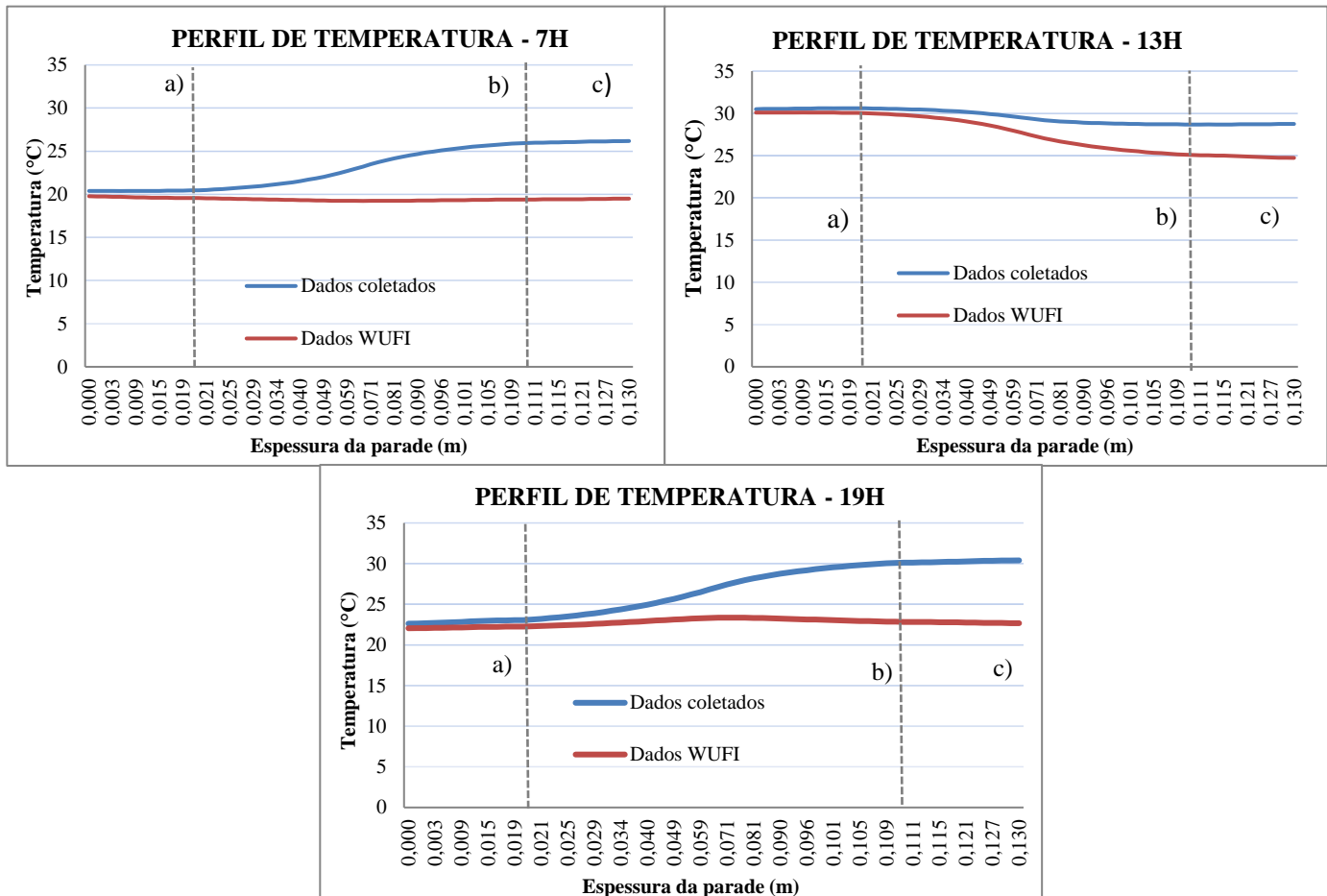


Figura 5 - Perfis de temperatura da parede de fachada às 7h, 13h e 19h: a) argamassa externa; b) bloco cerâmico; c) argamassa interna.

O processo de degradação dos componentes de fachada ocorre em função de mecanismos específicos de degradação causadores de anomalias, os quais são vinculados à umidade e temperatura [14]. No caso estudado, as alterações de temperatura estão mais presentes nas argamassas internas, alcançando também os blocos cerâmicos. Entretanto, verifica-se o rebaixamento do perfil de umidade em toda a parede. A presença de umidade responde pelos fenômenos de transporte de água e secagem do material, os quais ocasionam mecanismo de degradação como a cristalização de sais na argamassa e alvenaria assim como a retração das argamassas [14]. Logo, as alterações nos perfis de temperatura e umidade podem influenciar na ação dos mecanismos de degradação e, por consequência, na evolução da degradação.

4. CONCLUSÃO

A utilização da simulação higrotérmica para estudo da degradação está condicionada ao emprego de dados de entrada adequados e que reflitam a realidade. Neste estudo verificou-se a influência da aplicação de dados coletados de temperatura e umidade relativa do ar interior de uma edificação na simulação higrotérmica, gerando diferentes perfis de umidade e temperatura dos materiais ao longo da espessura de uma parede de fachada. Observou-se a alteração dos perfis de umidade produzidos em todas as camadas da parede, no qual houve um rebaixamento da curva com a inserção dos dados coletados in situ. Já para os perfis de temperatura, houve uma elevação da curva apenas nas camadas de argamassa interna e bloco cerâmico. Considerando o transporte de água e calor como fatores ligados aos principais mecanismos de degradação de componente de fachada, conclui-se que a utilização de dados climáticos adequados apontam para uma maior precisão na simulação higrotérmica para fins de estudo da degradação. Como contribuição de

pesquisa foi possível demonstrar as diferenças que ocorrem comparativamente entre os dados medidos e os modelos de cálculo para parâmetros de clima interior adotados pelo programa WUFI Pro para a cidade de Brasília.

REFERÊNCIAS

- [1] ANDRADE, D. T. DE; KARDEC, T. I. S.; BAUER, E. **Sinergia dos agentes higrotérmicos na degradação de fachadas**. XVII Congresso Internacional sobre patologia e Reabilitação das construções. **Anais...**Fortaleza-CE: 2021
- [2] NASCIMENTO, M. **Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2010.
- [3] ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2015.
- [4] NASCIMENTO, M. L. M. et al. **Parâmetros da Incidência de Chuva Dirigida na Fachada Obtidos pela Simulação Higrotérmica**. Congresso Brasileiro de Patologia das Construções 2016. **Anais...**Belém-PA: 2016Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/301602617>>
- [5] SOUZA, J. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2019.
- [6] WUFI Pro 6.5. IBP - Fraunhofer Institute for Building Physics. Holzkirchen, Germany, 2020.
- [7] SANTOS, A. C. **Avaliação do desempenho potencial de duas soluções de revestimentos argamassados em função do risco de formação de fungos emboloradores no interior de edificações na cidade de São Paulo**. [s.l.] USP, 2019.
- [8] BRITISH STANDARD INSTITUTION. **EN ISO 15026: Hygrothermal Performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation**. Brussels: BSI, 2007.
- [9] BRITISH STANDARD INSTITUTION. **EN ISO 13788: Hygrothermal Performance of Building Components and Building Elements – Internal Surface Temperature to Avoid Critical Surface Humidity and Interstitial Condensation – Calculation Methods**. Brussels: BSI, 2012.
- [10] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **ANSI/ASHRAE 160: Criteria For Moisture-Control Design Analysis In Buildings**. Atlanta, 2016.
- [11] FREITAS, A. S. S. L. A. DE F. **Avaliação do comportamento higrotérmico de revestimentos exteriores de fachadas devido à ação da chuva incidente**. [s.l.] FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO, 2011.
- [12] RORIZ, M. **Correções nas Irradiâncias e Iluminâncias dos arquivos EPW da Base ANTAC**.
- [13] BAUER, E.; NASCIMENTO, M.L.M.; CASTRO, E.K.,. **Parâmetros e ensaios físicos de materiais e componentes da fachada. Relatório interno** – Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM) –UnB/ENC, 2015.
- [14] BAUER, E.; MARA, L.; MOTA, G. Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. **Ambiente construído**, v. 21, n. 4, p. 23–43, 2021.

ÁREA TEMÁTICA: Desempenho e Durabilidade

CORRELAÇÃO DOS AGENTES CLIMÁTICOS COM A DEGRADAÇÃO DE FACHADA DE UM EDIFÍCIO EM BRASÍLIA POR MEIO DE CURVA DOSE-RESPOSTA

de Souza Silva, Matheus¹; Bauer, Elton²

¹ UnB - Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, matheus.engcv@outlook.com, 0000-0003-3011-1468

² UnB - Universidade de Brasília, Brasil, elbauerlem@gmail.com, 0000-0003-4559-874X

RESUMO

As fachadas são sistemas construtivos de uma edificação que recebem ação direta dos agentes climáticos, os quais configuram-se como agentes de degradação que reduzem o desempenho do sistema, possibilitando o surgimento de falhas. Logo, o objetivo desse trabalho é verificar a proporcionalidade e vinculação dos fatores climáticos com a degradação das envoltórias revestidas com cerâmica por meio de curva dose-resposta e modelação por regressão. Para isso foi levantado as características da edificação analisada, quanto à altura, orientação da edificação e absorvância em relação a cor do revestimento empregado, no qual essas características são usadas como dados de entrada para a realização de simulação higrótérmica pelo Software WUFI. Os dados de saída serão postos em uma análise gráfica de curva dose-resposta com os valores do Fator Geral de Degradação (FGD) de cada orientação da superfície revestida e depois verificado se os fatores climáticos analisados descrevem o FGD por meio da elaboração de uma função por regressão. As avaliações demonstraram que os termos referentes a radiação não descrevem de forma precisa o FGD. Já o número de ciclos e a chuva acumulada apresentam correlação satisfatória com o fenômeno de degradação e a avaliação dose-resposta auxilia na escolha dos termos que irão compor a função de regressão.

Palavras-chave: Fachada; Degradação; Intempéries; Dose-resposta.

ABSTRACT

The facades are constructive systems of a building that receive direct action from climatic agents, which are configured as agents of degradation that reduce the performance of the system, allowing the emergence of failures. Therefore, the objective of this work is to verify the proportionality and linkage of climatic factors with the degradation of ceramic coated envelopes through dose-response curve and regression modeling. For this, the characteristics of the analyzed building were raised, regarding the height, orientation of the building and absorbance in relation to the color of the coating used, in which these characteristics are used as input data for the performance of hygrothermal simulation by the WUFI Software. The output data will be put into a graphical analysis of dose-response curve with the values of the General Degradation Factor (FGD) of each orientation of the coated surface and then verified if the analyzed climatic factors describe the FGD through the elaboration of a function by regression. The evaluations showed that the terms referring to radiation do not accurately describe the FGD. On the other hand, the number of cycles and the accumulated rainfall present a satisfactory correlation with the phenomenon of degradation and the dose-response evaluation helps in choosing the terms that will compose the regression function.

Keywords: Facade; Degradation; Weather; Dose-response.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as diversas solicitações que as fachadas são submetidas, podendo ser de natureza mecânica, química, física ou biológica [1]–[3] a proteção do clima interno em relação as condições externas é uma das principais funções desempenhadas. O sistema de revestimento funciona como uma proteção contra os agentes atmosféricos (radiação solar, chuva e ventos fortes) nos quais, quando em contato com a superfície dos revestimentos, atuam como os principais mecanismos de degradação [4]–[6], demonstrando que o desempenho dos revestimentos é altamente dependente do clima [7]. Logo, a ação direta dos agentes climáticos contra a superfície das fachadas afeta o desempenho e vida útil dos componentes e materiais por meio de diferentes mecanismos de degradação [8].

A coleta de dados referentes a ação dos agentes está diretamente vinculado a zona climática que a edificação está inserida, no qual o microclima do revestimento depende de fatores como orientação, características do material de revestimento; características do edifício (por exemplo, altura); topografia do terreno e proteção da superfície, por elementos existentes ou por elementos exteriores à envolturas [9]. Os fenômenos atmosféricos devem ser quantificados, uma vez que suas ações tem peso representativo no surgimento de falhas nas fachadas, no qual os fatores climáticos são causa de 41% dos defeitos latentes em paredes externas [10].

Um exemplo de tal relevância é o surgimento de manchas, que são frequentemente associadas a umidade que possibilita a aparição de outras anomalias como eflorescência e fissuração [11], [12], sendo correspondente à 45% do total de manifestações patológicas encontradas em sistemas de argamassas [13]. No entanto, os diferentes tipos de sistemas de revestimento não respondem igualmente aos agentes de degradação, pois os revestimentos cerâmicos estão associados a um processo de queda de desempenho específico caracterizado pelo deslocamento [14], [15].

Para os revestimentos cerâmicos a presença de água na superfície cria condições ótimas para o desenvolvimento da colonização biológica [16] e as variações superficiais oriundas da ação da radiação estão associadas aos esforços de cisalhamento, gerando uma tendência de separação na interfase do sistema [17]–[19], possibilitando fissuração e falta de adesão devido à umidade ou variações térmicas [20]. Assim, uma compreensão adequada da influência da exposição ambiental no desempenho das fachadas deve levar em consideração tanto os fatores climáticos como os materiais empregados [21].

A avaliação desses fenômenos não deve ser realizada de forma isolada, pois não há defeitos oriundos da ação separada da umidade em revestimentos cerâmicos, mesmo que esse fenômeno seja responsável por 17% dos defeitos. Fatores singulares não evidenciam dados sobre o real efeito das questões relacionadas à umidade [22], ou seja, a durabilidade dos revestimentos depende da ação combinada dos agentes climáticos [23], pois a ação de alguns agentes provavelmente é mais efetiva na presença de outros [24].

O levantamento quantitativo dos agentes atmosféricos e os riscos induzidos pela umidade e radiação podem ser obtidos por simulações higrotérmicas unidimensionais em conjunto da envoltura do edifício, possibilitando a avaliação a longo prazo [25], mas a mera caracterização do microclima, devido a combinação de fatores relacionados ao meio ambiente, é muito simplista pra supor que a contribuição de um parâmetro climático específico de degradação possa ser entendido individualmente sem considerar outros fatores [21]. Idade, tamanho e cor dos revestimentos empregados, são fatores que podem descrever as condições de queda de desempenho [26]. Logo, cada sistema de revestimento é um protótipo único e, portanto, os diferentes requisitos e condições de exposição, uso e manutenção devem ser considerados na avaliação da vida útil do componente [27], [28].

A quantificação da degradação dos revestimentos pode ser realizada por meio da Metodologia de Mensuração da Degradação (MMD), desenvolvida por pesquisadores da Universidade de Brasília (UnB) [29] que permite a obtenção de um índice de degradação denominado Fator de Degradação Geral (FGD). O FGD fornece um índice numérico que descreve a degradação dos componentes da edificação considerando a área afetada pelos defeitos, nos quais existe um coeficiente de ponderação vinculado a sua gravidade [1]. Os defeitos mais comuns são oriundos de processos físicos (umidade, sujeira, mudança de cor e erosão), mecânicos (trincas, defeitos nas juntas e falhas de adesão) e químicos (eflorescência, organismos biológicos e corrosão) [30].

Logo, o objetivo deste trabalho é realizar a quantificação dos fatores climáticos vinculados a temperatura e umidade por meio de simulação higrotérmica e correlacioná-los com os valores de FGD de fachadas de sistemas de revestimento cerâmicos, com o propósito de avaliar graficamente as relações entre os fatores por meio de avaliação dose-reposta e por meio de análise por regressão linear. Possibilitando descrever qual o grau de correlação existente entre os agentes climáticos e o índice de degradação.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização do edifício

O edifício analisado está localizado em Brasília – DF, especificamente na Asa Sul superquadra Sul 115 bloco F, possuindo 43 anos de idade e seis pavimentos, ou seja, possui mais de 20 metros de altura. O edifício possui a fachada revestida por

sistema cerâmico na cor branco neve, que possui 27,2% de absorvância, segundo preconiza [31]. O sistema é composto por revestimento cerâmico externo, camada de argamassa externa, bloco cerâmico e camada de argamassa interna. A Figura 1 apresenta a projeção da edificação em questão e suas respectivas orientações cardeais.



Figura 1 - Projeção da edificação analisada.

2.2 Simulação higratérmica

A quantificação dos agentes climáticos de incidência de chuva e radiação foi realizada por meio do software WUFI 6.5 que leva em consideração para base de cálculo as camadas do elemento construtivo, orientação e altura da edificação, resistência térmica, reflexividade do solo, fator de redução da chuva incidente, umidade relativa inicial e temperatura inicial. O tempo de simulação possui dados de saída em horas, no qual são simulados os três últimos anos e excluído os dois primeiros, sendo assim a simulação será realizada contemplando o período de 01/01/2018 até 01/01/2021, no qual será utilizado apenas o ano de 2021, totalizando 8760 horas em dados de temperatura e umidade [11]. Os dados das condições atmosféricas de Brasília são referentes a base de dados climáticos disponíveis pelo INMET do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LAbEEE-UFSC). A Figura 2 demonstra as condições de temperatura e umidade extraídas da simulação e o Quadro 1 apresenta a caracterização das camadas analisadas.

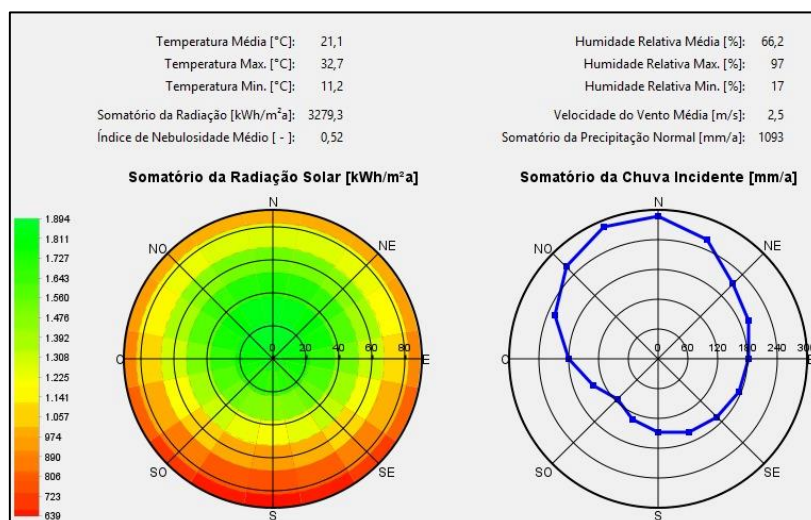


Figura 2 - Condições de umidade e temperatura extraídas da simulação.

Quadro 1 - Características de simulação das camadas da envoltória.

| Camada | Espessura (m) | Densidade aparente (kg/m ³) | Porosidade (m ³ /m ³) | Calor específico (J/kgK) | Condutibilidade térmica (W/mK) | Fator de resistência à difusão de vapor de água |
|--------------------|---------------|---|--|--------------------------|--------------------------------|---|
| Placa cerâmica | 0,005 | 1730 | 0,29 | 868 | 0,4924 | 116 |
| Argamassa externa | 0,02 | 1860 | 0,2604 | 850 | 0,8 | 24 |
| Bloco cerâmico | 0,09 | 570 | 0,486 | 850 | 0,158 | 23 |
| Argamassa interior | 0,02 | 1830 | 0,2745 | 850 | 0,8 | 17 |

O processo de simulação pode ser dividido em três etapas como é apresentado por [32], no qual a primeira etapa consiste na caracterização do sistema e das propriedades dos materiais constituintes de cada camada e caracterização do clima; A segunda etapa se refere a filtragem dos dados de saída, no caso será usado, precipitação e radiação direta; A terceira etapa está relacionada ao pós-processamento, onde ocorre o tratamento dos dados de saída e correlação com os possíveis mecanismos de degradação. O tratamento irá ter como resultado final os dados expressos no Quadro 2 que divide os dados de saída em fatores diretos e fatores calculados.

Quadro 2 - Dados de saída da simulação higrotérmica.

| | | |
|---------------------------|--|--|
| Fatores diretos | Chuva acumulada | Corresponde ao valor de precipitação acumulado anual. |
| | Radiação direta | Refere-se ao valor de radiação direta incidente na fachada acumulada anual. |
| Fatores calculados | Índice de incidência de temperatura (IIT) | Relaciona a amplitude da temperatura média e sua frequência de ocorrência com a frequência de todas as ocorrências das faixas de estudo, leva-se em consideração os efeitos dos ciclos e os valores de temperaturas alcançados no sistema. |
| | Índice de molhagem | Condiz ao maior teor de umidade da camada nos tempos do primeiro ao último episódio de chuva, dividido pelo teor de umidade no tempo anterior ao primeiro episódio. |
| | Número de ciclos | Considera o número de vezes que o teor de umidade da camada for inferior a 40% do teor de umidade máximo alcançado no episódio de chuva. |

2.3 Análise fatores dos climáticos-FGD

Os fatores expressos no Quadro 2 serão correlacionados com os valores de FGD de cada orientação da fachada, a fim de realizar uma análise dose-resposta, verificando quais fatores climáticos são diretamente proporcionais ao aumento do FGD. Considerando que a simulação é referente a um ano, será multiplicado os valores dos fatores climáticos pelas idades de 10, 20, 30, 40, 43 e 50 anos e correlacionar com os valores de FGD das mesmas idades obtidos por uma sobreposição de pontos. Os fatores diretos (isolados) e cálculos (combinados) serão submetidos a uma regressão linear múltipla para avaliar se esses fatores podem descrever a degradação dos sistemas de fachada pelo índice de FGD. A regressão será realizada pelo software de estatística denominado IBM SPSS Statistics.

3. RESULTADOS

3.1 Avaliação dose-resposta

A avaliação dos gráficos dose-resposta apresentados na Figura 3 possibilita afirmar uma certa correlação de proporcionalidade entre as grandezas, uma vez que a fachada que apresenta maior incidência de chuva dirigida é a mesma que apresenta o maior FGD, no caso a fachada norte. Porém esse comportamento não é observado em todas as fachadas, pois, se os termos fossem totalmente proporcionais, a fachada de menor FGD seria a mesma que teria o menor índice de chuva, no entanto o menor índice de chuva apresentado no gráfico é referente a fachada oeste, porém o menor FGD pertence a fachada leste.

Mesmo com essa divergência, a relação FGD/Chuva acumulada apresenta maior expressividade do que a relação FGD/Radiação direta, uma vez que existe, na análise gráfica dessas duas grandezas, um vale entre as orientações norte e

leste frente a sul e oeste, no qual há uma proximidade muito grande entre os valores apresentados pelas orientações. Essas proximidades geram baixa visibilidade do impacto do fator de radiação em relação ao FGD. Concomitante a isso, as relações de proporcionalidade para essa variável foram inversas, pois a orientação leste é quem possui o menor FGD e a maior incidência de radiação.

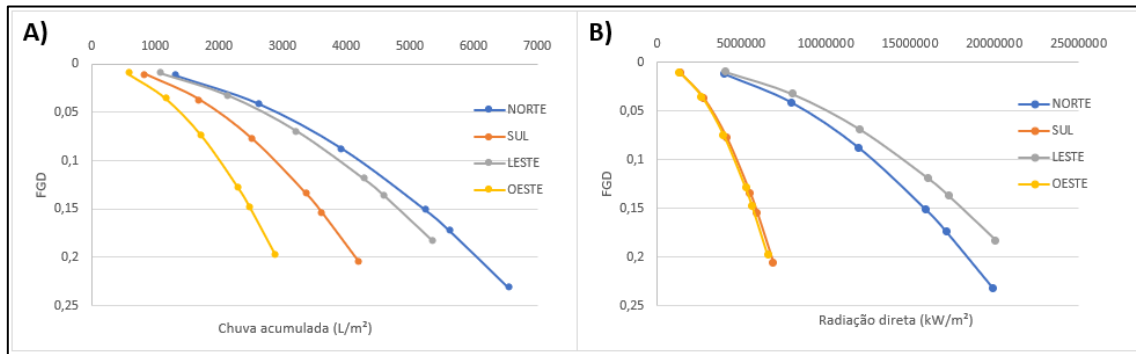


Figura 3 - Avaliação dose-resposta A) chuva dirigida-FGD; B) radiação direta-FGD.

Já para a relação dos fatores calculados, descrita na Figura 4, é possível observar, mais uma vez, que os valores relacionados a radiação, no caso o IIT, se confundem entre si, demonstrando grande similaridade entre as orientações, no qual não há direta proporcionalidade entre as variáveis, pois a orientação que possui o maior FGD não é a mesma que possui o maior IIT. Sendo que contrário dessa afirmação também é verdade, pois a orientação com menor FGD não é a mesma que possui o menor IIT. Dentro dessa condição é verificado que os fatores climáticos isolados vinculados a radiação, não apresentam proporcionalidade com o fator de degradação, demonstrando que esses não podem descrever de forma precisa a queda de desempenho dos sistemas de fachada revestida por placas cerâmicas.

Para parte B da Figura 4, que representa o índice de molhagem, é observado que há uma significativa diferença entre os resultados apresentados pelas orientações, ou seja, elas não se confundem, porém, a proporcionalidade entre os valores é inversa, ou seja, a orientação que apresenta o maior FGD é a mesma que possui o menor índice de molhagem, sendo que o contrário também é verdade, a orientação que apresenta menor FGD é a mesma que possui o maior índice de molhagem. Essa condição também se repete na Figura 5, onde existe a mesma inversa proporcionalidade, porém os dados estão menos agrupados sem que haja similaridade entre eles.

Em resumo da análise dose-resposta, os fatores isolados referentes a radiação não possuem correlação direta com o fator de degradação e nem expressividade gráfica. Já os fatores vinculados a umidade, possuem expressividade gráfica, inversa proporcionalidade, quando o FGD se refere ao índice de molhagem, e uma direta proporcionalidade menos expressiva quando se refere a chuva acumulada. Por fim o fator número de ciclos, que combina condições de umidade e temperatura, apresenta inversa proporcionalidade com o FGD.

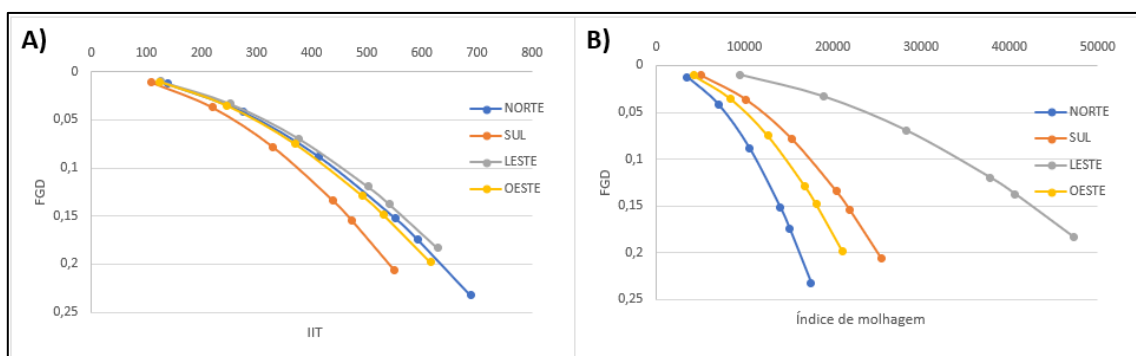


Figura 4 - Avaliação dose-resposta A) IIT-FGD; B) Índice de molhagem-FGD.

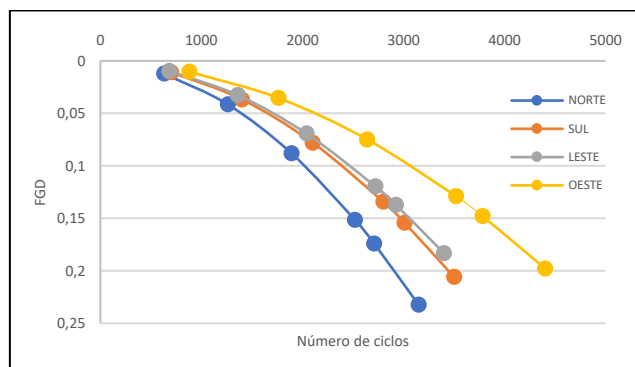


Figura 5 - Avaliação dose-resposta número de ciclos-FGD.

3.2 Análise de regressão linear

A análise de regressão utilizada foi a múltipla, pois existe mais de um fator independente para explicar um fator dependente. A primeiro momento a regressão fez uso dos dados diretos, ou seja, correlacionou a chuva acumulada e radiação direta, tendo com produto a Equação 1, que possui R^2 de 0,732. Os coeficientes apresentados da função demonstram baixa expressividade do termo de radiação a partir da análise do valor do coeficiente beta, no qual a radiação direta obteve o valor de 0,152, sendo que a chuva acumulada apresentou valor do coeficiente beta de 0,749.

$$f(x) = -0,015 + 3,26 * 10^{-5} * (Chuva\ acumulada) + 1,16 * 10^{-9} * (Radiação\ direta) \quad (1)$$

No segundo momento foram usados para compor a regressão os fatores calculados, no entanto o uso dos três termos em conjunto (IIT, número de ciclos e índice de molhagem) fazem com que os coeficientes da regressão apresentem valores inconsistentes, especialmente para o IIT. No caso da variável em questão o valor apresentado para esse termo é zero, ou seja, não apresenta representatividade para descrever o FGD por regressão, demonstrando que os fatores inconsistentes na análise dose-resposta são os mesmos que apresentam inconsistência na análise de regressão. Logo, tanto na condição direta como na calculada os termos referentes a radiação não apresentam significância quando analisados.

Para minimizar essa inconsistência para modelação usando os termos calculados, foi realizado combinações com apenas dois termos dos fatores calculados, no qual a mais adequada foi aquela que exclui da sua composição o IIT, ou seja, a regressão levará em consideração o índice de molhagem e o número de ciclos, conforme é apresentado pela Equação 2. O R^2 da função é de 0,836, 14% maior que o da função anterior, e os valores do coeficiente beta foram de 0,053 para o índice de molhagem e 0,879 para o número de ciclos, demonstrando que, dos termos calculados, o número de ciclos é o que possui maior impacto na descrição do fenômeno.

$$f(x) = -0,039 + 3,43 * 10^{-7} * (Índice\ de\ molhagem) + 5,801 * 10^{-5} * (N^o\ de\ ciclos) \quad (2)$$

No entanto, mesmo existindo uma discrepância entre os valores de coeficiente beta entre as modelagens, a função composta por fatores calculados apresenta dois termos que possuem proporcionalidade com o fenômeno, como foi analisado pela curva dose-resposta, ao passo que a função com fatores diretos faz uso de um termo inconsistente na análise da curva dose-resposta. Logo, é comum que a função que apresenta melhor desempenho em descrever o fenômeno seja aquela que usa termos consistentes e proporcionais, de forma direta ou inversa, com o FGD. A Figura 6 apresenta a probabilidade esperada e observada para as Equações 1 e 2 frente aos valores de FGD. É possível observar que a segunda função apresenta melhor agrupamento dos valores de dispersão em relação a reta.

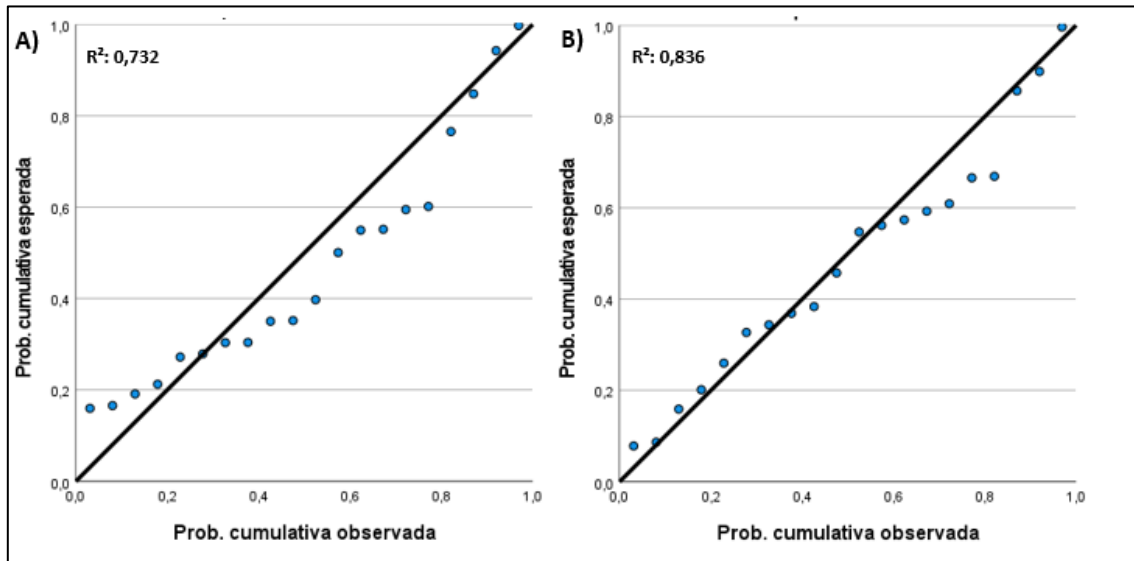


Figura 6 - regressão linear A) probabilidade com fatores diretos B) probabilidade com fatores calculados.

Por fim, foi realizado uma regressão não linear múltipla, usando todos os fatores, o objetivo da análise é verificar quais os termos, sendo eles diretos ou calculados, podem descrever o fator de degradação. Nesse tipo de análise são considerados apenas os termos de maior relevância, no qual os fatores que apresentam baixa ou nenhuma relevância são considerados variáveis excluídas do modelo. Para isso, foi usado o método *Retroceder* vinculado ao cálculo de regressão do SPSS, no qual obtive como variável excluída o IIT e apresentou que o menor valor de coeficiente beta é atribuído a radiação direta, evidenciando a baixa correlação da degradação com os fatores de radiação, sendo eles diretos ou calculados.

4. CONCLUSÃO

As avaliações realizadas possibilitam verificar que os agentes climáticos vinculados a umidade apresentam maior representatividade para descrever o fenômeno de degradação das fachadas de revestimento cerâmico frente aos agentes vinculados a radiação. Quando os termos diretos ou calculados são postos em avaliação por regressão linear é visto que os termos de chuva acumulada e número de ciclos são os mais expressivos na análise, ou seja, um termo isolado de umidade e um combinado de umidade e temperatura apresentam forte correlação com o FGD. Para uma melhor formulação de combinação entre fatores para descrever a degradação a partir de dados climáticos, a análise gráfica de curvas dose-resposta funciona como um filtro de fatores a serem adotados na modelagem. Os fatores que apresentam baixa expressividade e nenhum tipo de proporcionalidade são os mesmo que são excluídos ou apresentam baixos valores de coeficiente beta na regressão, fazendo com que a avaliação dose-resposta seja uma análise inicial para modelar fenômenos de degradação com variáveis relevantes.

REFERÊNCIAS

- [1] P. L. Gaspar and J. de Brito, "Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: A comparison between different degradation indicators," *Buuld. Environ.*, vol. 43, no. 11, pp. 1818–1828, 2008.
- [2] E. Barreira and V. P. de Freitas, "Evaluation of Surface Humidification of Exterior Insulation and Finish Systems," *J. Perform. Constr. Facil.*, vol. 30, no. 2, p. 04015026, 2016.
- [3] L. O. Madrigal, J. M. Fran Bretones, and B. S. Lanzarote, "Proposed method of estimating the service life of building envelopes," *Rev. la Constr.*, vol. 14, no. 1, pp. 60–68, 2015.
- [4] A. Morgado, A. Soares, I. Flores-Colen, M. D. R. Veiga, and M. G. Gomes, "Durability of thermal renders with lightweight and thermal insulating aggregates: Regranulated expanded cork, silica aerogel and expanded polystyrene," *Gels*, vol. 7, no. 2, 2021.
- [5] M. L. M. Nascimento, E. Bauer, J. S. de Souza, and V. A. G. Zanoni, "Wind-driven rain incidence parameters

obtained by hygrothermal simulation,” *J. Build. Pathol. Rehabil.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2016.

- [6] V. P. De Freitas and V. Sá, “Cementitious Adhesives Performance During Service Life,” *10DBMC Int. Conférence Durab. Build. Mater. Components LYON*, vol. 10, no. April, 2005.
- [7] S. S. de Freitas and V. P. de Freitas, “Cracks on ETICS along thermal insulation joints: case study and a pathology catalogue,” *Struct. Surv.*, vol. 34, no. 1, pp. 57–72, 2016.
- [8] E. Bauer, J. S. Souza, and L. M. G. Mota, “Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil,” *Ambient. Construído*, vol. 21, no. 4, pp. 23–43, 2021.
- [9] K. Westberg, J. Norén, and H. Kus, “On using available environmental data in service life estimations,” *Build. Res. Inf.*, vol. 29, no. 6, pp. 428–439, 2001.
- [10] W.-K. Chong and S.-P. Low, “Latent Building Defects: Causes and Design Strategies to Prevent Them,” *J. Perform. Constr. Facil.*, vol. 20, no. 3, pp. 213–221, 2006.
- [11] V. A. G. Zanoni, “Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília,” *Tese doutorado. Univ. Brasília*, p. 293, 2015.
- [12] M. L. M. NASCIMENTO, “APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA NA INVESTIGAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS,” *Diss. Mestrado. Univ. Brasília*, p. 173, 2016.
- [13] E. Bauer, C. B. Piazzarollo, J. S. de Souza, and D. G. dos Santos, “Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation,” *J. Build. Pathol. Rehabil.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [14] E. Bauer, E. K. Castro, and M. N. B. Silva, “Estimate of the facades degradation with ceramic cladding: Study of Brasilia buildings,” *Ceramica*, vol. 61, no. 358, pp. 151–159, 2015.
- [15] C. P. Pacheco and G. L. Vieira, “Análise quantitativa e qualitativa da degradação das fachadas com revestimento cerâmico,” *Ceramica*, vol. 63, no. 368, pp. 432–445, 2017.
- [16] N. Neto and J. de Brito, “Inspection and Defect Diagnosis System for Natural Stone Cladding,” *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 23, no. 10, pp. 1433–1443, 2011.
- [17] A. G. SARAIVA, “CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE TENSÕES DE NATUREZA TÉRMICA EM SISTEMAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO DE FACHADA,” *Diss. Mestrado. Univ. Brasília*, p. 164, 1998.
- [18] J. S. DE SOUZA, “IMPACTO DOS FATORES DE DEGRADAÇÃO SOBRE A VIDA ÚTIL DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS,” *Tese doutorado. Univ. Brasília*, p. 139, 2019.
- [19] L. Thai-ker and W. Chung-wan, “Challenges of External Wall Tiling in Singapore,” *Qualicer*, no. 1, pp. 97–106, 2006.
- [20] L. M. Bezerra, J. C. B. Uchôa, J. A. Araújo, and J. Bonilla, “Experimental and Numerical Investigation of Fatigue in Base-Rendering Mortar Used in Façades Undergoing Thermal Cycles,” *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 30, no. 8, p. 04018192, 2018.
- [21] C. Ferreira, J. Barreiras, A. Silva, J. de Brito, I. S. Dias, and I. Flores-Colen, “Impact of environmental exposure conditions on the maintenance of facades’ claddings,” *Buildings*, vol. 11, no. 4, pp. 1–31, 2021.
- [22] C. Pereira, J. de Brito, and J. D. Silvestre, “Contribution of humidity to the degradation of façade claddings in current buildings,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 90, no. March, pp. 103–115, 2018.
- [23] C. Ferreira, L. Canhoto Neves, A. Silva, and J. de Brito, “Stochastic Petri-net models to predict the degradation of ceramic claddings,” *Build. Res. Inf.*, vol. 47, no. 6, pp. 697–715, 2019.

- [24] J. Barrelas, I. S. Dias, A. Silva, J. de Brito, I. Flores-Colen, and A. Tadeu, “Impact of environmental exposure on the service life of façade claddings—A statistical analysis,” *Buildings*, vol. 11, no. 12, pp. 1–20, 2021.
- [25] X. Zhou, D. Derome, and J. Carmeliet, “Robust moisture reference year methodology for hygrothermal simulations,” *Build. Environ.*, vol. 110, pp. 23–35, 2016.
- [26] J. Souza, A. Silva, J. de Brito, and E. Bauer, “Analysis of the influencing factors of external wall ceramic claddings’ service life using regression techniques,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 83, no. July 2017, pp. 141–155, 2018.
- [27] A. Silva, J. de Brito, and P. L. Gaspar, *Methodologies for service life prediction of buildings: with a focus on façade claddings*. 2016.
- [28] W.-K. Chong and S.-P. Low, “Assessment of Defects at Construction and Occupancy Stages,” *J. Perform. Constr. Facil.*, vol. 19, no. 4, pp. 283–289, 2005.
- [29] J. S. DE SOUZA, “EVOLUÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS - EFEITO DOS AGENTES DE DEGRADAÇÃO E DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES,” *Diss. Mestrado. Univ. Brasília*, p. 118, 2016.
- [30] E. Bauer, E. Kraus, M. N. B. Silva, and V. A. G. Zanoni, “Evaluation of damage of building facades in Brasília,” *DBMC - Int. Conf. Durab. Mater. Components*, vol. XIII, no. 1, pp. 535–542, 2014.
- [31] K. A. Dornelles and M. Roriz, “Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações,” *X Congr. Int. Tintas - Artig.*, p. 12, 2007.
- [32] E. BAUER, R. LUCENAS, A. CAVALCANTE, E. _Neto, and V. PEREIRA, “ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADA DE EDIFÍCIO EM BRASÍLIA/DF - ELABORAÇÃO DE CURVA DOSE-RESPOSTA,” *Congr. Bras. Patol. das Construções*, no. January, pp. 2960–2971, 2020.

ÁREA TEMÁTICA: Desempenho e Durabilidade

DESEMPENHO DE TINTAS ELABORADAS COM PIGMENTOS VEGETAIS FRENTE AO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO

FARIA, Fernanda Cardoso de¹; SCHMID, Aloísio Leoni²

¹ Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil, ferrmfian@gmail.com

² Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil, aloisio.schmid@gmail.com, 0000-0003-2737-6246

RESUMO

A presente pesquisa buscou elaborar tintas imobiliárias para pinturas murais cujos pigmentos sejam oriundos de vegetais considerando a necessidade de aditivos conservadores de cor e técnicas capazes de garantir um desempenho satisfatório frente à resistência à abrasão (RAU) seguindo os procedimentos descritos pela NBR 15078:2004. Foram avaliadas as características físicas como pH, densidade e viscosidade, cujas quantidades dos insumos e aplicação em corpos de prova de argamassa serviram como dados para elaborar uma estimativa de custo por litro de tinta, a fim de comparar estas características com as tintas industrializadas comumente utilizadas na construção civil e traçar uma relação direta entre estas e a RAU de cada amostra. Os resultados indicam que as tintas elaboradas com pigmentos vegetais são mais econômicas e possuem maior rendimento, no entanto, os resultados do ensaio de RAU comprovou que o desempenho satisfatório frente à abrasão foi alcançado ao elevar a viscosidade e diminuir o pH das tintas, indicando a necessidade em desenvolver formulações para atingir os limites de desempenho exigidos pelas normas técnicas por meio de quantidades ideais para cada componente. Pretende-se disseminar o uso de pigmentos vegetais como uma possível solução para minimizar os impactos ambientais causados por substâncias sintéticas presentes nas tintas imobiliárias.

Palavras-chave: tintas imobiliárias; pigmentos vegetais; desempenho; ensaio de resistência à abrasão.

ABSTRACT

This research sought to develop paints for buildings walls whose pigments come from vegetables, considering the need for color-conserving additives and techniques able to reach a good performance against abrasion resistance (RAU) following the procedures described by NBR 15078:2004. Physical characteristics such as pH, density and viscosity were evaluated, whose quantities of inputs and application in mortar specimens served as data to prepare an estimate of cost per liter of paint, in order to compare these characteristics with the industrialized paints commonly used in civil construction and trace a direct relationship between them and the RAU of each sample. Results indicate that paints made with vegetable pigments are more economical and have higher yields, however, the results of the RAU test proved that the good performance against abrasion was achieved by increasing the viscosity and decreasing the pH of the paints, indicating the need to develop formulations to reach the performance limits required by technical standards through ideal amounts for each component. It is intended to disseminate the use of vegetable pigments as a possible solution to minimize the environmental impacts caused by the use of synthetic substances present in paints buildings.

Keywords: paints buildings; vegetables pigments; performance; abrasion resistance teste.

1. INTRODUÇÃO

Através da pintura mural, coletivos de artistas e pintores expõem sua arte a fim de disseminar conhecimento e técnicas artísticas como forma de vivenciar a cultura local [1]. Com o aumento da visibilidade e do interesse da população por técnicas ecológicas, tal prática busca inovações como a elaboração própria das tintas e do uso de insumos naturais, como pigmentos vegetais, e terras e argilas locais. Neste contexto, surge o questionamento sobre as características físicas e a durabilidade das tintas elaboradas com insumos vegetais, já que a instabilidade dos cromóforos é um desafio enfrentado atualmente por diferentes ramos industriais que almejam aproveitar da ampla gama de cores oriundas das plantas.

Na indústria têxtil, por exemplo, pesquisadores têm relatado o bom desempenho de aditivos naturais utilizados como fixadores e conservantes de cor, como o alúmen de potássio (popularmente conhecido como pedra hume), tanino e sulfato ferroso [2]. Os taninos são amplamente utilizados na Ásia oriental no tingimento de vestimentas, papéis e na impermeabilização de madeira através do kakishibu, uma técnica milenar que consiste na fermentação do suco de caquis verdes adstringentes (*Diospyros kaki Thunb*) [3].

Na construção civil, a pintura de paredes com insumos naturais é comum no leste da Índia, por exemplo, em que os moradores da comunidade rural de Potua aplicam a técnica conhecida como *patachitras*, em que as tintas são elaboradas com pigmentos de raiz de açafrão-da-terra (cúrcuma), frutos e folhas de plantas nativas da região, e aglutinante feito da goma do fruto *bael* (*Aegle marmelos*). Tais pinturas podem ser aplicadas em paredes externas, e são capazes de resistir às ações das intempéries (Figura 1) [4].



Figura 1 – Aplicações de *patachitras* em comunidade rural no leste da Índia [4].

O uso de pigmentos vegetais também era comum na região central do continente americano, em que as plantas do gênero *indigoferas* têm uma importância cultural e histórica para a população mesoamericana. O pigmento extraído das plantas *indigoferas* era misturado às argilas locais para a elaboração do azul maya, utilizado em pinturas murais, objetos sagrados e altares religiosos [5].

No Brasil, artesãos, pintores e artistas plásticos utilizam insumos naturais comuns e acessíveis para a elaboração de suas tintas, como cacau, carvão vegetal, alga spirulina, sementes de urucum, raiz de açafrão-da-terra, linhaça marrom ou dourada, e cola branca PVA (acetato de polivinila) que, apesar de ser um polímero industrial, não apresenta toxicidade, não libera compostos orgânicos voláteis (COVs), é solúvel em água e facilmente encontrado no mercado. Além disso, as tintas elaboradas com pigmentos naturais em que foram adicionadas quantidades de PVA como resina apresentou resultados satisfatórios de durabilidade e desempenho nos estudos elaborados por Faria [6] e Cardoso [7].

Portanto, neste trabalho utilizamos como referências as experiências de artesãos, pintores, artistas plásticos e pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento sobre as técnicas para a extração de pigmentos oriundos dos vegetais, as possíveis receitas e quantidades de insumos para elaborar as tintas, e os diferentes tipos de aditivos para conservação de cor e bactericidas para aumentar a durabilidade das pinturas. Assim, os objetivos são: elaborar tintas com insumos naturais para pigmentos, aglutinantes, solventes, aditivos e bactericidas através das receitas pesquisadas em revisão bibliográfica; avaliar as características físicas das misturas geradas, como pH, viscosidade e densidade; traçar as relações entre essas características e o desempenho frente à resistência à abrasão (RAU) de acordo com os limites estabelecidos pela ABNT para tintas látex da categoria econômica [8]; levantar uma estimativa de custo por litro e rendimento de cada tinta elaborada, a fim de comparar os resultados com uma tinta látex econômica industrializada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Seleção dos componentes e extração dos pigmentos

Os componentes das tintas foram escolhidos seguindo o critério de fácil acesso e baixo custo, portanto, foram utilizados como pigmento: raiz de açafrão-da-terra (*Curcuma Longa L.*), sementes de urucum (*Bixa orellana*), alga spirulina (*Arthrospira platensis*), urucum em pó, cacau em pó (*Theobroma cacao*) e carvão vegetal (*Carbo activatus*).

A raiz do açafrão-da-terra passou por processos de secagem e trituração para a obtenção de um pó, posteriormente diluído em álcool etílico 70° INPM na proporção de 1:10 para a extração do pigmento curcumina, como sugerido por artistas plásticos na cidade de Guarulhos-SP. O pigmento bixina presente nas sementes de urucum foi extraído através da imersão em álcool etílico 70° INPM na proporção de 1:5, conforme experimento elaborado por Vanuchi [9]. A extração dos pigmentos de clorofila da alga spirulina e antocianinas presentes no cacau em pó seguiram os procedimentos descritos pelo artesão capixaba Jhon Bermond [10], enquanto o carvão vegetal apenas passou pelo processo de trituração descrito por Zilli [11].

Para aglomerar as partículas de pigmento, os aglutinantes utilizados no presente trabalho foram a goma de linhaça e a resina PVA. Silva e Uemoto [12] indicam que a quantidade de resina compõe cerca de 4,3 a 13% em massa de uma tinta látex, ou seja, a quantidade de PVA em cada amostra elaborada seguiu os limites estipulados para esta classificação. O PVA utilizado neste estudo é da marca Cascorez, categoria universal, pH de 4,3 e viscosidade de 7.100 cp (centipóises) a 25°C, enquanto a goma de linhaça foi elaborada na proporção de 1 de sementes para 5 de água, apresentando pH de 5,4 e viscosidade de 9.500 cp a 25°C.

Como aditivos conservadores de cor foram utilizados o kakishibu fermentado durante 24 meses, com pH de 3,4 e viscosidade de 0,9 cp a 25°C, elaborado pela artesão gaúcha Marion Rupp, e o alumínio de potássio facilmente encontrado no mercado de produtos naturais.

Como agente bactericida foi utilizada a cal de pintura (carbonato de cálcio) e o vinagre branco devido à sua acidez (pH de 2,8). Segundo Coelho et al. [13], a cal atua como agente bactericida e fungicida devido à sua alcalinidade, impedindo a formação de manchas, além de proporcionar economia de tinta quando adicionada como base. Segundo Faria [6], a cal é comumente utilizada em tintas ecológicas para aplicação em construções de terra crua, juntamente com outros insumos naturais para conferir a resistência à ação da água [14], e na pintura de paredes internas de casas coloniais brasileiras [15].

3.2 Elaboração das misturas

A produção das misturas seguiu os procedimentos listados abaixo:

- a) foram pesadas as quantidades de pigmento e solvente para a diluição
- b) à mistura de pigmento e solvente foi adicionada a quantidade pesada de aglutinante;
- c) posteriormente foram adicionadas as quantidades pesadas de aditivo e agente bactericida, quando presente;
- d) agitou-se com um misturador elétrico a 3.000 rpm por 3 minutos até se alcançar a homogeneidade da mistura;
- e) as amostras foram transferidas para recipiente com capacidade de 500 ml para realizar as medições de viscosidade, densidade e pH;
- (f) após as medições, foi feita a aplicação em substratos de alvenaria para os ensaios de resistência à abrasão.

A partir das variações nas quantidades de cada componente, foi possível elaborar 20 amostras de tintas. A Tabela 1 apresenta o volume de cada insumo nas amostras, em que estão identificados os pigmentos: raiz de açafrão-da-terra em pó (P1), sementes de urucum (P2), spirulina em pó (P3), cacau em pó (P4), urucum em pó (P5) e carvão vegetal (P6); os solventes água (A) e etanol (E); os aglutinantes goma de linhaça (G) e cola branca PVA (C); os aditivos conservadores de cor kakishibu (K) e alumínio de potássio (AP), e os agentes bactericidas vinagre (V) e cal de pintura (CP).

| Pigmento | Solvente | Aglutinante | Aditivo | Bactericida |
|----------|----------|-------------|---------|-------------|
|----------|----------|-------------|---------|-------------|

| Amostra | Insumo | Quant. (%) | Insumo | Quant. (%) | Insumo | Quant. (%) | Insumo | Quant. (%) | Insumo | Quant. (%) |
|---------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|
| 1 | P1 | 0,02 | E | 0,38 | G | 0,56 | K | 0,04 | -- | 0 |
| 2 | | 0,31 | | 0,01 | | 0,61 | | 0,02 | CP | 0,05 |
| 3 | | 0,06 | A | 0,06 | | 0,58 | AP | 0,1 | CP | 0,2 |
| 4 | P2 | 0,22 | E | 0,11 | | 0,45 | | 0,11 | | 0,11 |
| 5 | | 0,16 | | 0,18 | | 0,29 | K | 0,08 | | 0,29 |
| 6 | | 0,15 | | 0,12 | | 0,61 | -- | 0 | | 0,12 |
| 7 | P3 | 0,04 | A | 0,48 | C | 0,48 | -- | 0 | -- | 0 |
| 8 | | 0,16 | | 0,35 | G | 0,4 | K | 0,09 | -- | 0 |
| 9 | | 0,04 | | 0,46 | | 0,46 | -- | 0 | V | 0,04 |
| 10 | P4 | 0,04 | A | 0,48 | C | 0,48 | -- | 0 | -- | 0 |
| 11 | | 0,17 | | 0,5 | G | 0,25 | AP | 0,08 | | |
| 12 | P5 | 0,36 | E | 0,21 | | 0,36 | K | 0,07 | | |
| 13 | | 0,2 | A | 0,2 | C | 0,5 | | 0,1 | | |
| 14 | P1 | 0,22 | E | 0,11 | G | 0,56 | AP | 0,11 | | |
| 15 | | 0,16 | A | 0,41 | C | 0,35 | | 0,08 | | |
| 16 | P2 | 0,14 | E | 0,27 | | 0,54 | 0,05 | | | |
| 17 | P4 | 0,05 | | 0,43 | G | 0,43 | K | 0,09 | | |
| 18 | P6 | 0,1 | A | 0,45 | | 0,45 | -- | 0 | | |
| 19 | | 0,14 | E | 0,43 | C | 0,36 | K | 0,07 | | |
| 20 | P5 | 0,17 | A | 0,5 | G | 0,25 | AP | 0,08 | | |

Tabela 1 - Quantidade de insumos nas amostras de tinta.

As tintas foram aplicadas em corpos de prova de argamassa (medidas 10x10cm), cujas cores obtidas através das misturas dos componentes estão apresentadas na Figura 2, em que as amostras estão identificadas com a numeração de 1 a 20.

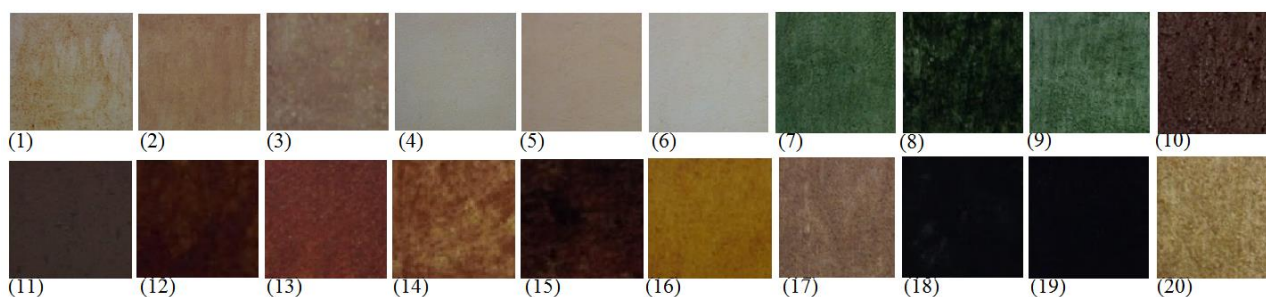


Figura 2 – Identificação das cores das 20 amostras de tinta.

3.3 Avaliação da viscosidade

A viscosidade de uma tinta interfere diretamente em sua aplicabilidade nos substratos, ou seja, viscosidade elevada proporciona boa aderência no substrato, enquanto a viscosidade baixa proporciona boa aplicabilidade, sendo que um bom

rendimento na aplicação relaciona a viscosidade da tinta e a quantidade de demãos necessárias para cobrir totalmente o substrato [16]. Segundo Verona [17], o viscosímetro do tipo Copo Ford é apropriado para tais medições pois avalia a fluidez da amostra através do tempo de escoamento de determinada quantidade pelo orifício do copo. A viscosidade cinemática (ν) considerada ideal para uma tinta corresponde ao tempo de escoamento no viscosímetro copo Ford de 12 ± 1 segundos [16].

Segundo Cardoso *et al.* [18], a viscosidade está relacionada com a quantidade de solvente, ou seja, nas avaliações das tintas elaboradas com pigmentos de solos foi preciso elevar os níveis de solvente (água) para diminuir a viscosidade de suas amostras. Os autores concluíram o limite máximo considerável aceitável para boa aplicabilidade da tinta é de 400 cp.

Portanto, a consistência final de cada amostra no presente trabalho foi alcançada através da variação da quantidade de solventes adicionados às misturas, a fim de alcançar uma consistência similar à de tintas convencionais e das tintas elaboradas com terras e argilas por Faria [6] e Cardoso [7]. A viscosidade de cada amostra foi medida com viscosímetro Copo Ford (QUIMIS modelo Q280) de orifício número 4 (diâmetro 4,115 mm), seguindo o método de ensaio da ABNT NBR 5849 [19]. Foram realizadas três medidas em cada amostra com temperatura de $25^\circ\text{C} \pm 1$, sendo adotado o resultado obtido através da média das três medidas.

3.4 Avaliação do pH

Segundo Yamak [20], o pH considerado ideal para emulsões que utilizam resina de PVA está compreendido entre 4,5 e 5,5. A FAO [21] indica o pH ideal entre 5,0 e 6,5 para emulsões que utilizam PVA e etanol, denominado “PVOH” por Cardoso *et al.* [18], que adotaram o limite máximo de 5,5 para as tintas elaboradas com pigmentos de solo. Segundo Cardoso [7], o pH elevado compromete a ação da resina PVA, pois o aumento do pH aumenta a solubilidade das resinas poliméricas [22]. O pH de cada amostra foi medido com pHmetro da marca Digimed modelo DM-23.

3.5 Avaliação da resistência à abrasão (RAU)

Segundo a NBR 15079 [8], as tintas látex de classificação econômica apresentam limite mínimo de 100 ciclos de escovação no ensaio de resistência à abrasão. Cardoso [7] comprovou que, para obter RAU acima de 100 ciclos, é necessário elevar os níveis de solvente e diminuir as quantidades de resinas nas formulações de tintas com pigmentos de solos pois, segundo o autor, quanto maior o pH, menor a RAU e, ao reduzir a viscosidade das tintas, é possível elevar os valores de RAU. Na presente pesquisa, foram seguidos os procedimentos para avaliar a resistência à abrasão das amostras através da ABNT NBR 15078:2004 – *Método para avaliação do desempenho de tintas para edificações não industriais: Determinação de resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva* [23].

3.6 Rendimento e custo/litro

A partir da quantidade de insumos utilizada em cada amostra e da quantidade de tinta necessária para o revestimento total de uma área de 100cm^2 , foi possível calcular o rendimento (litros/m^2), o custo por litro e fazer a estimativa do valor total de um galão de 18 litros de tinta, a fim de comparar os resultados com as tintas látex industrializadas de categoria econômica comumente utilizadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta as características de cada amostra: os valores obtidos de pH, viscosidades cinética (ν) e dinâmica (μ), a temperatura em que foram medidas a viscosidade, e a quantidade de ciclos de escovação que cada mistura foi capaz de resistir no ensaio de RAU, em que estão destacadas em negrito as amostras com RAU acima do limite mínimo.

Tabela 2 – Características das amostras de tinta e resistência à abrasão.

| Amostra | pH | Temperatura (°C) | Densidade (g/cm ³) | Viscosidade v (mm ² /s) | Viscosidade μ (cp) | RAU (ciclos) |
|-----------|------------|------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------|
| 1 | 5,3 | 24,1 | 0,89 | 62,48 | 55,61 | 40 |
| 2 | 11,7 | 25,8 | 0,91 | 298,41 | 271,55 | 47 |
| 3 | 9,1 | 26,0 | 1,02 | 167,51 | 170,86 | 25 |
| 4 | 8,1 | 25,9 | 0,77 | 72,34 | 55,70 | 17 |
| 5 | 12,0 | 24,9 | 0,98 | 89,16 | 87,38 | 24 |
| 6 | 12,0 | 25,9 | 0,86 | 59,25 | 50,95 | 23 |
| 7 | 6,3 | 25,1 | 0,87 | 82,85 | 72,08 | 60 |
| 8 | 8,8 | 25,8 | 0,76 | 727,03 | 552,54 | 22 |
| 9 | 6,7 | 25,8 | 0,72 | 572,22 | 412,00 | 18 |
| 10 | 4,7 | 24,0 | 0,90 | 91,82 | 82,64 | 142 |
| 11 | 3,3 | 25,7 | 0,85 | 238,73 | 202,92 | 56 |
| 12 | 5,4 | 24,0 | 1,04 | 521,71 | 542,58 | 24 |
| 13 | 3,7 | 25,0 | 0,99 | 484,59 | 479,75 | 160 |
| 14 | 5,3 | 25,2 | 0,89 | 521,71 | 464,32 | 70 |
| 15 | 3,1 | 25,7 | 0,90 | 560,00 | 504,19 | 233 |
| 16 | 4,0 | 25,8 | 0,89 | 112,03 | 99,71 | 103 |
| 17 | 3,6 | 25,6 | 0,90 | 155,96 | 140,36 | 37 |
| 18 | 6,3 | 25,3 | 0,85 | 76,26 | 64,82 | 20 |
| 19 | 5,7 | 24,5 | 0,88 | 319,74 | 281,37 | 190 |
| 20 | 3,2 | 25,5 | 0,99 | 81,50 | 80,68 | 30 |

Apenas 25% das amostras apresentaram RAU acima de 100 ciclos de escovação, em que o pH compreende-se entre 3,1 e 5,7. As amostras com níveis de pH e viscosidade elevados apresentaram resultados insatisfatórios de RAU. Apenas 9% das amostras apresentaram pH similar ao das tintas industrializadas (entre 8,3 e 10,8). As tintas elaboradas com etanol e PVA apresentaram pH com valores superiores aos valores de pH das amostras de tintas com pigmentos de solo elaboradas por Cardoso [7], que estipulou o pH máximo de 5,5.

Diferente das tintas com pigmentos de solo elaboradas por Cardoso [7], as tintas elaboradas com pigmentos vegetais apresentaram viscosidade considerada aceitável entre 70 cp (mínimo) e 160 cp (máximo). Ou seja, as amostras em que a viscosidade ultrapassou os 160 cp apresentaram misturas espessas, prejudicando a aplicabilidade no substrato. Em contrapartida, as amostras com viscosidade abaixo de 70 cp apresentaram misturas mais líquidas, com respinga durante a aplicação e baixa aderência no substrato. No entanto, ao comparar com a viscosidade média de tintas industrializadas (201,15 cp), todas as amostras elaboradas apresentaram viscosidade inferior, ainda dentro do limite máximo de 400 cp estipulado por Cardoso [7] para tintas elaboradas com PVA e pigmentos de solos.

A Tabela 3 apresenta o rendimento de cada amostra e as estimativas de custo por litro e o custo de 18 litros de tinta, em que estão destacadas em negrito as amostras cujo custo de um galão de 18 litros é inferior a 100 reais.

Tabela 3 – Rendimento e custo de cada amostra.

| Amostra | Rendimento (L/m ²) | Custo (R\$/L) | Custo 18L |
|----------|--------------------------------|---------------|--------------|
| 1 | 2 | 3,05 | 55,02 |

| | | | |
|----|------|-------|--------|
| 2 | 2,4 | 1,89 | 34,12 |
| 3 | 3,05 | 3,53 | 63,69 |
| 4 | 2,55 | 10,14 | 182,57 |
| 5 | 3,4 | 4,79 | 86,23 |
| 6 | 6,2 | 4,22 | 76,02 |
| 7 | 1,6 | 22,36 | 402,5 |
| 8 | 2,35 | 12,56 | 22,15 |
| 9 | 1,6 | 3,54 | 63,87 |
| 10 | 1,9 | 15,99 | 287,94 |
| 11 | 3,2 | 5,39 | 97,17 |
| 12 | 5,4 | 8,37 | 150,72 |
| 13 | 2,45 | 22,38 | 402,86 |
| 14 | 4 | 5,41 | 97,5 |
| 15 | 3,55 | 15,61 | 281,11 |
| 16 | 1,75 | 22,63 | 407,48 |
| 17 | 2,25 | 4,19 | 75,49 |
| 18 | 3,2 | 1,36 | 24,53 |
| 19 | 4,45 | 15,56 | 280,2 |
| 20 | 2,2 | 4,52 | 81,34 |

Os resultados indicam que, entre as amostras elaboradas com insumos naturais, 25% das amostras apresentaram valores similares ao das latas de tintas industrializadas e 60% das amostras apresentaram valor inferior, ou seja, a maior parte das amostras elaboradas possuem cerca de metade do custo de uma tinta industrializada. Ainda, 80% das amostras apresentaram maior rendimento em comparação às tintas industrializadas, e 10% das amostras apresentaram rendimento similar.

A partir dos resultados dos ensaios de viscosidade e RAU, percebe-se que o pigmento representa um fator relevante não somente no cumprimento de suas funções comuns na composição de uma tinta (proporcionar a coloração e proteção do aglutinante, segundo Cardoso [24]), mas também é um componente cuja quantidade influencia na viscosidade e na capacidade da tinta em resistir às escovações.

A cal de pintura utilizado no presente estudo elevou os índices de pH nas amostras em que esteve presente, devido à sua alcalinidade. Além de não se enquadrarem nos limites estimulados de pH para tintas industrializadas, as amostras com pH elevado apresentaram RAU abaixo de 100 ciclos de escovação, indicando que o uso deste agente bactericida evita a degradação das tintas por agentes microbiológicos, mas proporciona uma tinta com desempenho insatisfatório frente à resistência à abrasão.

A extração dos pigmentos de urucum em pó e raiz de açafrão em pó utilizando a água como solvente comprovou, após 24 horas de imersão, a insolubilidade da bixina e curcumina em água, conforme os dados coletados em revisão bibliográfica. Recomenda-se a extração destes cromóforos em etanol para maior aproveitamento da coloração do pigmento vegetal.

4. CONCLUSÃO

A combinação dos componentes, no geral, apresentou resultados insatisfatórios de viscosidade e RAU quando utilizados nas proporções informadas pelos artesãos, pintores e artistas plásticos consultados no presente estudo, pois visaram, principalmente, a coloração desejada proveniente do vegetal selecionado para a elaboração da tinta, sua consistência e baixo custo.

Portanto, o presente trabalho pretende indicar a necessidade em encontrar proporções de componentes suficientes para atingir a viscosidade apropriada, resistência à abrasão acima de 100 ciclos de escovação e, ao mesmo tempo, evitar gastos desnecessários com insumos como o PVA, por exemplo, considerado o componente com o custo mais elevado em uma tinta artesanal. Ainda o presente trabalho pretende alavancar futuras pesquisas na área das tintas imobiliárias elaboradas com pigmentos vegetais, a fim de viabilizar o uso destes cromóforos na construção civil.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES pela bolsa de doutorado que possibilitou a elaboração da presente pesquisa e aos artesãos Marion Rupp, Emily Freitas, Jhon Bermond e Marcela Pagani pela colaboração com as receitas e informações sobre a elaboração artesanal das tintas e os processos de extração de pigmentos vegetais.

REFERÊNCIAS

- [1] SÁUL, T. S.; VICINI, M. G.; FONSECA, N. F.; SANCHES, D. C. P.; TODERO, L. N.; FERRANDO, F. **Muralismo: arte, cultura e pós-humanismo**. Revista Educação, Artes e Inclusão. V. 15, n. 2. Jun, 2019.
- [2] SILVA, M. G. da, SILVA, A. B. da, GIACOMINI, F. ARZANI, V. C., FERREIRA, F. L, RUGGERI, T. **Tingimento de têxteis com o corante natural extraído dos excrementos do bicho-da-seda**. 4º Congresso Científico Têxtil e Moda: Inovar para Crescer. Blumenal – SC. 2016.
- [3] YOSHIOKA, S.; TOYAMA, H.; KISHIMOTO, N.; FUJITA, T. **Inhibition of Cariogenic Factors of Mutans Streptococci by Persimmon Tannin**. Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Kinki University. Japan, 2005.
- [4] MAHALANOBISH, D; DEY, T. **Use Of Natural Colours In Patachitras By The Potua: A Pilot Study in the District Of Midnapur, West Bengal**. National Workshop and Seminar on “Vegetable dye and its application on textiles”, SilpaSadana, VisvaBharati, 2nd – 4th December, 2011.
- [5] CAMPBELL, T. V.; **Índigo: resgate do azul vegetal para novas aplicações no design**. 2013. 110 p. Dissertação. (Mestrado em design)-Programa de Pós-Graduação em Design do Departamento de Artes & Design da PUC-Rio-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2013.
- [6] FARIA, F. C. **Produção de tintas naturais para construção civil: testes de preparação, aplicação e avaliação do intemperismo acelerado**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, UFPR. Curitiba, 2015.
- [7] CARDOSO, F. P. **Desenvolvimento de processos de produção e avaliação do desempenho de tintas para a construção civil manufaturadas com pigmentos de solos**. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15079 - **Tintas para construção civil - Especificação dos requisitos mínimos de desempenho de tintas para edificações não industriais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- [9] VANUCHI, V. C. F. **Corantes naturais da cultura indígena no ensino de química**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria – RS. 2019.
- [10] BERMOND, J. **Apostila intuitiva de pigmentos naturais**. Arte da Terra, ed. 1. 2015. Disponível em: <<https://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/Apostila-Pigmentos-Naturais.pdf>>. Acesso em: fevereiro de 2021.
- [11] ZILLI, M. C. **Manual construindo arte: um apoio para o desenvolvimento de sua atividade**. Projeto comunitário realizado pela PUC-PR. v. 1. ed. 1. 2008.

- [12] SILVA, J.; UEMOTO, K. L. **Caracterização de tintas látex para construção civil**: diagnóstico do mercado do estado de São Paulo. Boletim Técnico. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 2005.
- [13] COELHO, A. Z. G.; TORRAL, F. P.; JALALI, S. **A cal na construção**. Universidade do Minho. Guimarães, 2009.
- [14] CAMÕES, A.; EIRES, R.; JALALI, S. **Old materials and techniques to improve the durability of earth buildings**. University of Minho, Guimarães, Portugal. 2012.
- [15] ALVARENGA, D. **Curso de tintas a partir de pigmentos minerais**. Fundação IBI – Tecnologias Alternativas. Belo Horizonte, MG. 2006
- [16] LOPES, M. M. S.; ALVARENGA, R. T. S. S.; PEDROTI, L. G.; CARDOSO, F. P.; MORAIS, C. S. S.; MENDES, B. C.; MEDEIROS, V. S. C. **Avaliação do desempenho de tintas para construção civil a base de resíduo de granito**. Anais do 72º Congresso Anual da ABM. vol. 72, nº. 1, 2017.
- [17] VERONA, C. C. **Estudo do impacto da variabilidade de resinas alquídicas nas propriedades de tintas**. Dissertação de mestrado profissionalizante em Engenharia com ênfase em qualidade e desenvolvimento de produto e processo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.
- [18] CARDOSO, F. DE P.; ALVARENGA, R. DE C. S. S.; CARVALHO, A. F. DE; FONTES, M. P. F. **Processos de produção e avaliação de requisitos de desempenho de tintas para a construção civil com pigmentos de solos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 167-183, out./dez. 2016.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5849 – **Tintas para construção civil - Determinação de viscosidade pelo copo Ford**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- [20] YAMAK, H. B. **Emulsion Polymerization**: Effects of Polymerization Variables on The Properties of Vinyl Acetate Based Emulsion Polymers. 2013. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/polymer-science>>. Acesso em: 13/05/2022.
- [21] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Polyvinyl Alcohol**: Chemical and Technical Assessment, First Draft Prepared by S. K. Saxena. In: JOINT FAO/WHO EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES, 61., 2004. Proceedings, 2004.
- [22] JÚNIOR, W.J.P.S. **Determinação de propriedades superficiais da argila montmorilonita em suspensão aquosa de PVA com diferentes graus de hidrólise**. Florianópolis, SC, 2006. Relatório.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15078 – **Tintas para construção civil. Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais. Determinação da resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 5 p.
- [24] CARDOSO, F. P. **Os efeitos das características de pigmentos obtidos de solos sobre o desempenho de pinturas para edificações não industriais**. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2020.

ÁREA TEMÁTICA: Desempenho e Durabilidade

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA EM PRÉ-MOLDADOS E MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

Carvalho, Arlen¹; Sousa, Luis²; Farias, Marcelo³; Picanço, Marcelo⁴; Ribeiro, Marcella⁵.

¹Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil, arlenlua04@gmail.com

²Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil, octavious08@hotmail.com

³Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil, marcelo-farias@hotmail.com, 0000-0002-9773-4099

⁴Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil, marcelosp@ufpa.br, 0000-0001-7313-1229

⁵Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil, marcellacdribeiro@gmail.com, 0000-0002-3689-0039

RESUMO

A utilização de peças pré-moldadas em obras da construção civil vem se expandido nos últimos anos. Com prazos cada vez menores e a velocidade/praticidade na execução dos elementos, afeta diretamente no controle tecnológico do concreto. O presente trabalho trata-se de um estudo de caso de identificar e investigar possíveis causas de patologias e propor medidas mitigadoras em vigas pré-moldadas sendo empregadas em uma obra na região metropolitana de Belém do Pará. Foram realizados ensaios de consistência do concreto antecedendo o lançamento, moldagem de corpos de prova e verificação do tempo de lançamento do concreto in loco no canteiro de obras, testes em laboratório dos traços para fins comparativos e ensaios de esclerometria para avaliação de inconsistências das resistências mecânicas das peças. Ao fim, é apresentado uma proposta, para as patologias encontradas sejam eliminadas ou, ao menos, minimizadas.

Palavras-chave: pré-moldado; patologia; resistência mecânica; concreto.

ABSTRACT

The use of precast parts in civil construction works has expanded in recent years. With increasingly shorter deadlines and the speed/practicality in the execution of the elements, it directly affects the technological control of concrete. The present work is a case study to identify and investigate possible causes of pathologies and propose mitigating measures in precast beams being used in a work in the metropolitan region of Belém do Pará. Concrete consistency tests were carried out prior to launching, molding of specimens and verification of the time for launching the concrete in loco at the construction site, laboratory tests of the traces for comparative purposes and sclerometry tests to evaluate inconsistencies in the mechanical strengths. of the parts. Finally, a proposal is presented for the pathologies found to be eliminated or, at least, minimized.

Keywords: precast; pathology; mechanical resistance; concrete.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria da construção civil, o emprego de técnicas construtivas que visam o melhor aproveitamento, tanto de tempo, quanto do espaço disponível, têm sido um diferencial no mercado da construção civil. Tendo isso em mente, uma das técnicas mais comuns é a utilização de peças pré-moldadas de concreto, como vigas, estacas, lajes, dentre outras, que, por seus métodos de produção e aplicação, se mostram eficientes se tratando de aproveitamento de tempo e espaço. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 9062 [1], define elemento pré-moldado como elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura.

A produção das peças pré-moldadas necessita de um rigoroso controle tecnológico, no caso em questão, se divide em duas partes, no controle do concreto entregue na obra, e no controle do manuseio do mesmo durante a sua aplicação nas formas dos pré-moldadas no canteiro de obras, ambos tendo como objetivo a produção de peças com rendimento de acordo com os estabelecidos em projeto e evitando que as mesmas venham a desenvolver manifestações patológicas. O

material utilizado na fabricação do concreto deve ser bem definido e replicável, tendo em vista uma possível análise laboratorial posterior do traço, a empresa fornecedora do concreto pode optar por fornecer a carta-traço, para uma maior precisão dos ensaios laboratoriais. A NBR 7212 [5], define o procedimento para o concreto dosado em central, e aponta os tempos máximos de transporte, 90 minutos, e o tempo de lançamento do concreto, 150 minutos, a fim de evitar problemas de resistência oriundos do tempo de pega excedido, como resistência abaixo do esperado. Na execução no canteiro, deve-se ter um controle de lançamento nas formas, adensamento, cura, desforma e transporte das peças, a fim de evitar possíveis patologias.

Tendo isso em vista, o presente trabalho trata de um estudo de caso da avaliação do concreto utilizado em peças pré-moldadas fornecidos por duas concreteiras, denominadas A e B e verificação das manifestações patológicas oriundas das fissuras na face superior de algumas lajes pré-moldadas em uma obra na cidade de Belém- Pa. Foram analisados os materiais usados, os traços utilizados e a resistência do concreto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Para a produção dos concretos, as areias utilizadas foram fornecidas pelas concreteiras e foram armazenados em tonéis, areias quartzosas de granulometria média enquadrada na zona utilizável apresentada pela NBR 7211 [9], os agregados graúdos foram brita nº 0 de origem granítica e seixo rolado de origem de rios. Para a caracterização física dos agregados foi realizado os ensaios de massa específica de acordo com NBR 16917 [13] e NBR 16916 [12], massa unitária NBR 16972 [2] e módulo de finura e sua dimensão máxima conforme NBR NM 248 [2]. Os resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Características físicas dos agregados graúdos utilizados das empresas A e B.

| Parâmetro | Agregado Graúdo Empresa A | Agregado Graúdo Empresa B |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Massa Específica (g/cm ³) | 2,58 | 2,32 |
| Massa Unitária (g/cm ³) | 1,17 | 1,82 |
| Módulo de Finura (mm) | 6,06 | 3,85 |
| Dimensão Máxima (mm) | 12,5 | 12,5 |

Tabela 2 - Características físicas dos agregados miúdos utilizados das empresas A e B.

| Parâmetro | Agregado Miúdo Empresa A | Agregado Miúdo Empresa B |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Massa Específica (g/cm ³) | 2,15 | 2,23 |
| Massa Unitária (g/cm ³) | 1,44 | 1,75 |
| Módulo de Finura (mm) | 2,13 | 1,39 |
| Dimensão Máxima (mm) | 2,36 | 2,36 |

Foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial CP V- ARI, fornecido pela empresa B, e o cimento Portland CP II- F fornecido pela empresa A. Na tabela 3 apresenta os dados das características dos cimentos ensaiadas, tempo de pega conforme a NBR 16607 [11], massa específica NBR 16605 [10] e índice de finura NBR 11579 [7].

Tabela 3 – Características dos cimentos utilizados.

| Parâmetros | | CP II F | CP V ARI |
|------------------|-------------------|---------|----------|
| Tempo de pega | Início (min) | 165 | 144 |
| | Fim (min) | 191 | 201 |
| Massa específica | g/cm ³ | 3,06 | 3,00 |
| Índice de finura | % | 0,40 | 0,38 |

2.2 Dosagem, produção e cura dos concretos

Após a realização dos ensaios de caracterização dos agregados e cimentos, iniciou a produção dos concretos para atingir a resistência de 35 e 30 MPa segundo os traços utilizados pelas duas empresas. Foi fornecida pela empresa A carta traço utilizada em sua produção, porém, a empresa B não forneceu o mesmo, o que dificultou a execução. Contudo, dispondo das quantidades dos componentes contidas em nota fiscal de cada caminhão foi inferido o traço utilizado pela empresa. Os aditivos usados no trabalho foram os mesmos utilizados pelas empresas na produção de seus respectivos traços. A empresa A fez uso de dois aditivos, Mira set 63 e Recouer, que se tratam, respectivamente, de um polifuncional e de um retardador de pega. Já a empresa B fez uso de somente um aditivo, o MAXIMENT PXT 76, cujo o mesmo se trata de um plastificante polifuncional. Na tabela 4 são apresentados os traços em massa de cada concreteira e na tabela 5, as quantidades utilizadas dos componentes para 10 produção de corpos de provas.

A moldagem e a cura dos corpos de prova seguiram a prescrição da NBR 5738 [3]. Foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões 100 mm x 200 mm. Após desformados, estes foram submetidos à cura submersa até a realização dos ensaios propostos.

Tabela 4 - Traços unitários das empresas A e B.

| Traços Unitários | |
|---|---|
| Empresa A | Empresa B |
| [1: 2,21: 2,74] | [1: 3,40: 4,72] |
| a/c = 0,57 | a/c = 0,55 |
| Consumo de Cimento = 350kg/m ³ | Consumo de Cimento = 442,75 kg/m ³ |
| Abatimento = 100±10 mm | Abatimento = 220±30 mm |
| Aditivo Mira Set 63: 0,007 l/kg | Aditivo MAXIMENT PXT 76: 0,006 l/kg |
| Aditivo Recouer – GCP: 0,002 l/kg | |

Tabela 5 – Quantidade de material dos traços unitários A e B.

| Material | Consumo | |
|-------------------------|-----------|-----------|
| | Empresa A | Empresa B |
| Brita | 15 kg | 15 kg |
| Cimento | 5,47 kg | 3,18 kg |
| Areia | 12,10 kg | 10,80 kg |
| Água | 3,11 l | 1,75 l |
| Aditivo Mira set 63 | 38,29 ml | - |
| Aditivo Recouer | 10,94 ml | - |
| Aditivo MAXIMENT PXT 76 | - | 19,08 ml |

2.3 Resistência à compressão axial

A resistência à compressão axial dos concretos foi avaliada por se tratar de uma propriedade mecânica que indica, de modo geral, a qualidade e a conformidade do material. Além disso, a resistência à compressão é tomada como parâmetro relacionado à durabilidade em normas que utilizam a metodologia prescritiva, caso da NBR 6118 [8]. O procedimento realizado seguiu o prescrito pela NBR 5739 [4]. A avaliação da resistência à compressão foi realizada nas idades de 7 e 28 dias, sendo avaliados, a cada idade, cinco corpos de prova para cada traço.

3 INVESTIGAÇÃO PATOLÓGICA

A partir da avaliação das peças já endurecidas, verificou-se que as peças concretadas com o concreto proveniente da empresa B apresentou uma quantidade considerável de fissuras. Diante disso, optou-se por realizar nos mesmos ensaios não destrutivos, para verificar se suas propriedades mecânicas não foram afetadas por conta da presença de manifestação patológica. Optou-se pela realização do ensaio de esclerometria, seguindo as recomendações da NBR 7584 [6], executando o ensaio em três pontos das vigas (extremidades e meio), mantendo o esclerômetro o máximo possível na

vertical e atentado, sob o auxílio de um detector de metais, para que nenhum aglomerado de aço coincida com os pontos ensaiados, uma vez que isso pode dar o falso resultado de uma resistência superficial alta.

O ensaio de esclerometria, foi realizado com o aparelho do modelo Silverschimit da marca Proceq, foi efetuado “*in loco*” nos elementos que apresentaram fissuras, bem como nos demais, aos 7 e 28 dias a fim de comparar e validar os resultados obtidos em laboratório pelo ensaio de compressão axial. Foram efetuadas três medições por elemento e, de acordo com a norma, cada medição é obtida através de uma média ponderada de 16 pontos, dispostos em uma zona quadrada dividida em 16 partes. Conforme a Figura 1.

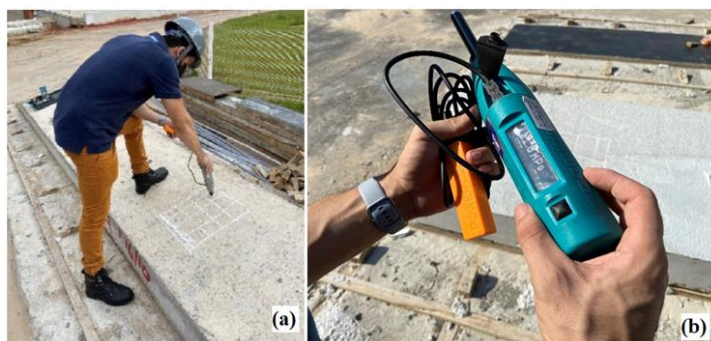


Figura 1 - (a) Ensaio de esclerometria em viga pré-moldada, (b) Esclerômetro utilizado no ensaio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades mecânicas – Ensaio de resistência a compressão axial

Após a dosagem conforme regulamentado pela NBR 12655 [15], moldagem e cura dos corpos de prova em laboratório, seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma NBR 5739 [4], ensaiou-se a resistência a compressão os corpos de prova dos concretos das duas empresas nas idades de 7 e 28 dias. A Tabela 6 apresenta os dados obtidos dos dois concretos e suas respectivas médias.

Tabela 6: Resultados ensaios de resistência à compressão axial

| Corpos-de-prova (Empresa A) | F _{c7} (MPa) | Média (Mpa) | F _{c28} (MPa) | Média (Mpa) |
|--------------------------------|-----------------------|-------------|------------------------|-------------|
| CP1 | 18,03 | 18,09 | 35,98 | 36,00 |
| CP2 | 18,23 | | 36,10 | |
| CP3 | 18,05 | | 35,73 | |
| CP4 | 17,97 | | 36,00 | |
| CP5 | 18,17 | | 36,01 | |
| (Empresa B) | F _{c7} (MPa) | Média (Mpa) | F _{c28} (MPa) | Média (Mpa) |
| CP1 | 20,11 | 20,10 | 38,23 | 39,40 |
| CP2 | 20,18 | | 39,4 | |
| CP3 | 20,10 | | 39,33 | |
| CP4 | 19,98 | | 40,45 | |
| CP5 | 20,13 | | 40,11 | |

Diante dos resultados é possível enfatizar que todos os ensaios de caracterização para os materiais fornecidos pelas empresas ficaram dentro dos parâmetros, o que contribui para a produção de um concreto de qualidade. Todavia, devido não ter sido disponibilizado a carta traço pela empresa B e com isso trazendo certa dificuldade para a reprodução do traço com fidelidade, reproduziu-se apenas o traço de concreto para o F_{ck} de 30 MPa baseado nas informações contidas em nota fiscal em relação ao quantitativo de materiais utilizados para produção de um volume de 8m³ de concreto fornecida para a obra.

Os resultados de resistências mecânicas obtidos a partir dos ensaios de resistência à compressão axial para ambos os concretos das empresas A e B foram satisfatórios. É válido mencionar que durante o rompimento dos corpos de provas foi possível observar que grande parte dos agregados se encontravam rompidos, conforme a Figura 2. Segundo Neville

[18], o que é um indicativo de que ele não possui resistência favorável para o uso na confecção de concreto para elementos estruturais.



Figura 2 - Corpo de prova com ruptura nos agregados.

4.2 Ensaios não destrutivos – esclerometria

Diante da manifestação de fissuras nos elementos estruturais (vigas pré-moldadas) produzidos com o concreto da empresa B optou-se por realizar ensaios de esclerometria nas mesmas com o intuito de verificar se suas resistências a compressão foram comprometidas. Aproveitou-se também para replicar os ensaios nas peças concretadas pela empresa A, para se constatar a propriedade mecânica delas, bem como para se atestar se os resultados obtidos por este ensaio coincidem com os obtidos pela prensa hidráulica. A Tabela 6 apresenta os dados obtidos pelos ensaios realizados nos elementos com idades de 7 e 28 dias, respectivamente.

Tabela 6: Resultados ensaios de esclerometria.

| Concreto | Elemento Pré-Moldado | Localização | Resistência à compressão Média (MPa) | |
|--------------------------|----------------------|---------------|--------------------------------------|------------------|
| | | | σ_{c7}^1 | σ_{c28}^2 |
| Empresa A fck (35MPa) | LP-16 | NF83664 | 21,75 | 25,25 |
| | LP-17 | NF83664 | 14,75 | 18,25 |
| | LP-03 | NF83664/83668 | 14,00 | 35,00 |
| | LP-04 | NF83668 | 24,00 | 21,25 |
| | LP-05 | NF83668 | 21,25 | 21,00 |
| Empresa B fck (35MPa) | LP-11 | NF571 | 26,25 | 49,25 |
| | LP-12 | NF571 | 25,00 | 50,50 |
| | LP-13 | NF571 | 30,00 | 46,50 |
| | LP-14 | NF571 | 29,25 | 48,75 |

¹ σ_{c7} – Resistência à compressão aos 7 dias; ² σ_{c28} – Resistência à comp. aos 28 dias;

³NF – Nota Fiscal do concreto usinado.

Diante dos resultados, notou-se que grande parte dos elementos concretados pela empresa A apresentaram, aos 28 dias de idade, resultados de resistência a compressão abaixo dos determinados em projeto, o que reforça a suposição de que a adição de água extra para a manutenção do abatimento tenha sido prejudicial para a resistência mecânica final aos 28 dias.



Figura 3 - Vigas fissuradas.

Já os elementos concretados pela empresa B não apresentaram nenhuma desconformidade em seus resultados de resistência a compressão axial, apresentando resistências com valores superiores a 35 MPa aos 28 dias, conforme o esperado, pois tal empresa dispõe, em seu traço, um elevado consumo de cimento. Porém, observou-se em alguns elementos uma taxa considerável de fissuração, apresentado na figura 3, que embora não afetem a resistência mecânica dos mesmos, podem ter grande influência na redução da vida útil desses elementos, já que a presença de fissuras possibilita que agentes agressores tenham um acesso mais fácil as armaduras, o que desencadeia patologias que prejudicam o rendimento e, conseqüentemente, a durabilidade desses elementos estruturais.

É provável que a causa para essa ocorrência patológica se encontra na ausência da execução de uma cura úmida eficiente, visto que o concreto dessa central dosadora leva em sua composição um consumo maior de cimento CP V ARI, que por possuir um elevado calor de hidratação, acabou por gerar elevadas temperaturas durante o endurecimento dos elementos concretados, viabilizando com isso condições favoráveis para a ocorrência de fissurações por retração.

Conforme constata os autores Helene, Tutikian e Bolina [17], este mecanismo é desenvolvido devido à perda excessiva da água livre por evaporação, a qual pode ocorrer de imediato após o lançamento do concreto, o que provoca uma retração volumétrica na pasta, gerando esforços internos que, por conta da ínfima resistência do concreto nesse período, não são absorvidos, gerando com isso as fissuras.

De acordo com ábaco do ACI [16], apresentado na Figura 5 é possível analisar que diante das circunstâncias da região Norte do país possuir umidade relativa do ar entre 75% a 95% [19], no qual é indicada pela seta vermelha, aliado ao elevado calor de hidratação do cimento CPV ARI, que a probabilidade de se ter um concreto fissurado é de 100%. Portanto, uma possível solução para tal problemática seja contornada seria a aumento do rigor na execução da cura dos elementos, diante dos registros fotográficos feito “in loco” apresentados pela Figura 4, nota-se que a mesma foi realizada de forma inadequada.



Figura 4 - Cura com mantas sem umedecimento, em elementos pré-moldado.

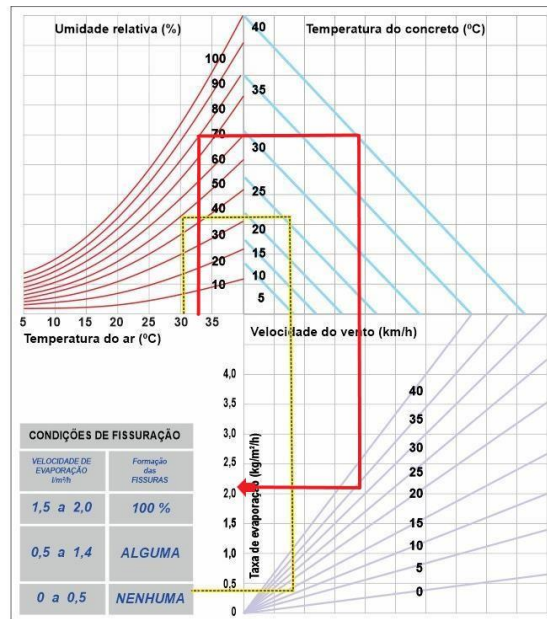


Figura 5 - Ábaco para determinar condições de fissuração [5].

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação aos ensaios mecânicos feitos com as amostras coletadas em canteiro, observou-se que uma considerável parcela, de ambas as empresas, obteve resultados de resistência a compressão axial abaixo do determinado em projeto. Constatou-se também que os elementos concretados pela empresa B apresentaram uma considerável taxa de fissuração quando endurecidos. Já os resultados dos ensaios de esclerometria apontaram um rendimento mecânico satisfatório dos elementos concretados pela empresa B, porém os elementos da empresa A obtiveram um rendimento abaixo do estabelecido em projeto, o que reforça a suposição que a adição de água para correção de abatimento dela prejudicou seu desenvolvimento mecânico.

Todavia, apesar de se enquadrarem na resistência mecânica estabelecido em projeto, as peças referentes a empresa B estão sujeitas a sérios problemas de durabilidade devido à presença das fissuras, o que provavelmente foi causada pelo elevado consumo de cimento CP V ARI, que gerou elevadas temperaturas durante a sua hidratação, em paralelo a uma cura ineficiente, etapa a qual, diante das circunstâncias apresentadas pela capital Belém, são imprescindíveis na execução de elementos estruturais. Portanto, para as vigas já executadas, sugere-se que feche as aberturas com resina epóxi para que assim se dificulte a entrada dos agentes agressores nas vigas, proporcionando uma maior proteção para as armaduras, e conservando com isso a durabilidade das mesmas.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2015.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7212: **Execução de concreto dosado em central — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2012.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7584: **Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2012.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11579: **Ensaio de determinação do índice de finura do cimento por meio da peneira 75 μ m (n°200).** Rio de Janeiro, 2012.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Estruturas de concreto armado – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2019.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605: **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2017.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655 - **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2020.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16607: **Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega.** Rio de Janeiro, 2018.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916: **Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2021.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16917: **Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2021.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16972: **Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios.** Rio de Janeiro, 2021.
- [16] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Building code requirements for structural concrete.** ACI Committee 318. Detroit, 1999.
- [17] HELENE, P.R.L.; TUTIKIAN, B.F.; BOLINA, F.L. **Patologia das construções.** São Paulo, 2019.
- [18] NEVILLE A.M. **Properties of Concrete.** 1995
- [19] O TEMPO E A TEMPERATURA: **Chuva e tempo abafado em boa parte da Região Norte. Brasil 61,** Brasília - DF, 10, junho de 2022. Disponível em: <<https://brasil61.com/n/o-tempo-e-a-temperatura-chuva-e-tempo-abafado-em-boa-parte-da-regiao-norte>>. Acesso em: 20, junho de 2022.

ÁREA TEMÁTICA: Desempenho e Durabilidade

A IMPORTÂNCIA DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL PARA A QUALIDADE FINAL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

BARRETO, Luís Eduardo Sousa de Sá¹; Sousa, Brenna Matos²; SANTOS, Paulo Ricardo Alves dos Reis³; OLIVEIRA, Carlos Eduardo Machado de⁴; SÁ, Camila Jordana de Sousa⁵

¹ Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão, Caxias-MA, Brasil, engluiseduardobarreto@gmail.com

² Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão, Caxias-MA, Brasil, brenna.mattos@hotmail.com, 0000-0002-4833-7070

³ Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão, Caxias-MA, Brasil, pauloricardo.ars@gmail.com, 0000-0003-4280-8326

⁴ Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão, Caxias-MA, Brasil, edu.machad4@gmail.com, 0000-0001-8870-6937

⁵ Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão, Caxias-MA, Brasil, camilajordanadesousa@gmail.com

RESUMO

O presente artigo científico, tem o fito de avaliar as diferentes possibilidades das concepções adotadas no desenvolvimento de um projeto estrutural e obter a forma mais econômica e segura de uma edificação. Inicialmente, foi feito um estudo de artigos e monografias já existentes destes assuntos, visando melhorar os conceitos e bases teóricas sobre o tema. Após isso, foi feito o lançamento da estrutura e em seguida coletados os resultados de acordo com cada caso analisado. Para a obtenção destes resultados, foram analisados os seguintes casos: Lançamento de um pilar. Nesse primeiro caso, foi verificado o comportamento da estrutura com e sem este pilar; Análise dos tipos de vinculações entre viga e pilar. Neste segundo caso, a análise foi realizada alternando entre vinculações rígidas, semirrígidas e rotuladas. Por fim, rotação de um pilar. A comparação dos valores obtidos de momentos fletores positivos, momentos fletores negativos e quantitativo de aço, foram feitos através de tabelas e figuras. Com os resultados obtidos, foi possível observar quais aspectos são importantes no momento de adotar a melhor concepção em um projeto estrutural. Além disso, houve uma redução da taxa de aço e momentos fletores após os comparativos, gerando uma economia final para o projeto.

Palavras-chave: análise estrutural; projeto estrutural; vinculações; rotação de pilares.

ABSTRACT

This scientific article aims to evaluate the different possibilities of the concepts adopted in the development of a structural project and obtain the most economical and safest form of a building. Initially, a study was made of existing articles and monographs on these subjects, aiming to improve the concepts and theoretical bases on the subject. After that, the structure was launched and then the results were collected according to each case analyzed. To obtain these results, the following cases were analyzed: Launch of a pillar. In this first case, the behavior of the structure with and without this pillar was verified; Analysis of the types of connections between beam and column. In this second case, the analysis was performed alternating between rigid, semi-rigid and labeled bindings. Finally, rotation of a pillar. The comparison of values obtained from positive bending moments, negative bending moments and steel quantitative were made through tables and figures. With the results obtained, it was possible to observe which aspects are important when adopting the best conception in a structural project. In addition, there was a reduction in the steel rate and bending moments after comparisons, generating final savings for the project.

Keywords: structural analysis; structural design; links; column rotation.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Pinheiro, Muzardo e Santos (2003) [4], a concepção estrutural, ou simplesmente estruturação, também chamada de lançamento da estrutura, consiste em definir um sistema estrutural que dê benefícios a edificação, visando a sua durabilidade e segurança.

A eficiência da solução de uma estrutura, tanto em termos de segurança, desempenho em serviço e economia, é dependente de uma concepção estrutural bem desenvolvida, sendo feita de acordo com as normas e adequada às necessidades de cada edificação. (KOERICH, 2015) [3].

O projeto estrutural é responsável pelo desempenho da edificação. Por meio de cálculos específicos e criteriosos é feito o dimensionamento da estrutura que sustenta elementos como vigas, lajes e pilares. É definido quais as dimensões, e também, qual o tipo de estrutura é mais adequado para o projeto em questão, pois cada tipo de edificação ou terreno tem-se a necessidade de um modelo específico de estrutura. É este projeto que evita desmoronamentos, fissuras, patologias estruturais e rebaixamentos de piso, conhecido como recalque. Além do mais, uma estrutura superdimensionada ou subdimensionada pode apresentar problemas futuros em uma edificação, podendo ocasionar até mesmo colapsos.

O superdimensionamento ou subdimensionamento ocorrem devido as falhas na concepção estrutural de um projeto, como a má definição no posicionamento de pilares, a definição inadequada do tipo de ligação entre elementos, falta de uma melhor definição do tipo de laje, dificuldade de interpretação dos resultados da análise, soluções estruturais que não respeitam as condições de serviço, entre outros, deixando o projeto mais oneroso e com um segurança questionável.

Desta forma, a principal motivação que sustentou o presente trabalho, está ligada à influência que a escolha de uma concepção estrutural tem para a engenharia atual, tendo como principais benefícios a segurança, otimização de materiais, como aço e concreto, elementos e conseqüentemente o custo final do projeto.

A pesquisa tem o objetivo de analisar um projeto estrutural feito com o auxílio do Software Eberick Flex 2019 da AltoQi, comparar os valores de deslocamento, a taxa de aço e parâmetros de estabilidade da estrutura de acordo com cada concepção apresentada. Por fim, apresentar a diferença e influência que uma concepção bem elaborada em um projeto estrutural traz de benefícios, além do custo reduzido da obra.

2. METODOLOGIA

2.1 Delineamento da pesquisa

O trabalho desenvolvido é de caráter qualitativo e quantitativo, pois através de uma modelagem estrutural foram feitas análises das concepções adotadas e cálculo da diferença do quantitativo de materiais obtidos em cada situação.

Este trabalho envolve um estudo de caso, sendo assim, pode ser classificada como pesquisa exploratória, objetivando proporcionar aprimoramento de conceitos e explorar problemas que podem ocorrer. Além disso, foi feito uma análise de dados (deslocamentos, esforços na estrutura, quantitativo de aço e concreto etc.) de acordo com a concepção adotada, e identificada a diferença entre os resultados, sendo também classificada como pesquisa explicativa.

Desta maneira, o trabalho objetivou abordar o lançamento de uma estrutura e uma análise da diferença dos resultados obtidos após a concepção adotada, então este artigo se classifica como estudo de caso.

O projeto estrutural foi feito de uma residência de alto padrão, contendo dois pavimentos (térreo e 1º pavimento) e sua área total construída é de 353,22 m². Abaixo será ilustrado o modelo arquitetônico 3d desta residência (Figura 1).



Figura 1 – Fachada frontal da arquitetura.

2.2 Etapas da pesquisa

Para um melhor entendimento das etapas deste trabalho, foi desenvolvido um fluxograma mostrando o caminho seguido para obter todos os objetivos almejados (Figura 2).

Conforme pode ser observado no fluxograma, inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica abordando os principais assuntos e temas associados ao desenvolvimento e concepção de um projeto estrutural.

Após isso, foi feita a modelagem da estrutura no software Eberick Flex 2019, alternando a concepção adotada e verificando o comportamento da estrutura em relação às ligações rígidas, semirrígidas e rotuladas, quando utilizadas. Além disso, foi feita uma análise no que concerne a rotação dos pilares e o lançamento de elementos, com intuito de obter diferentes resultados e compará-los. Por fim, em uma análise final, após a comparação destes resultados, foi constatado que a escolha de uma concepção estrutural tem influência direta com a segurança e economia de uma edificação.

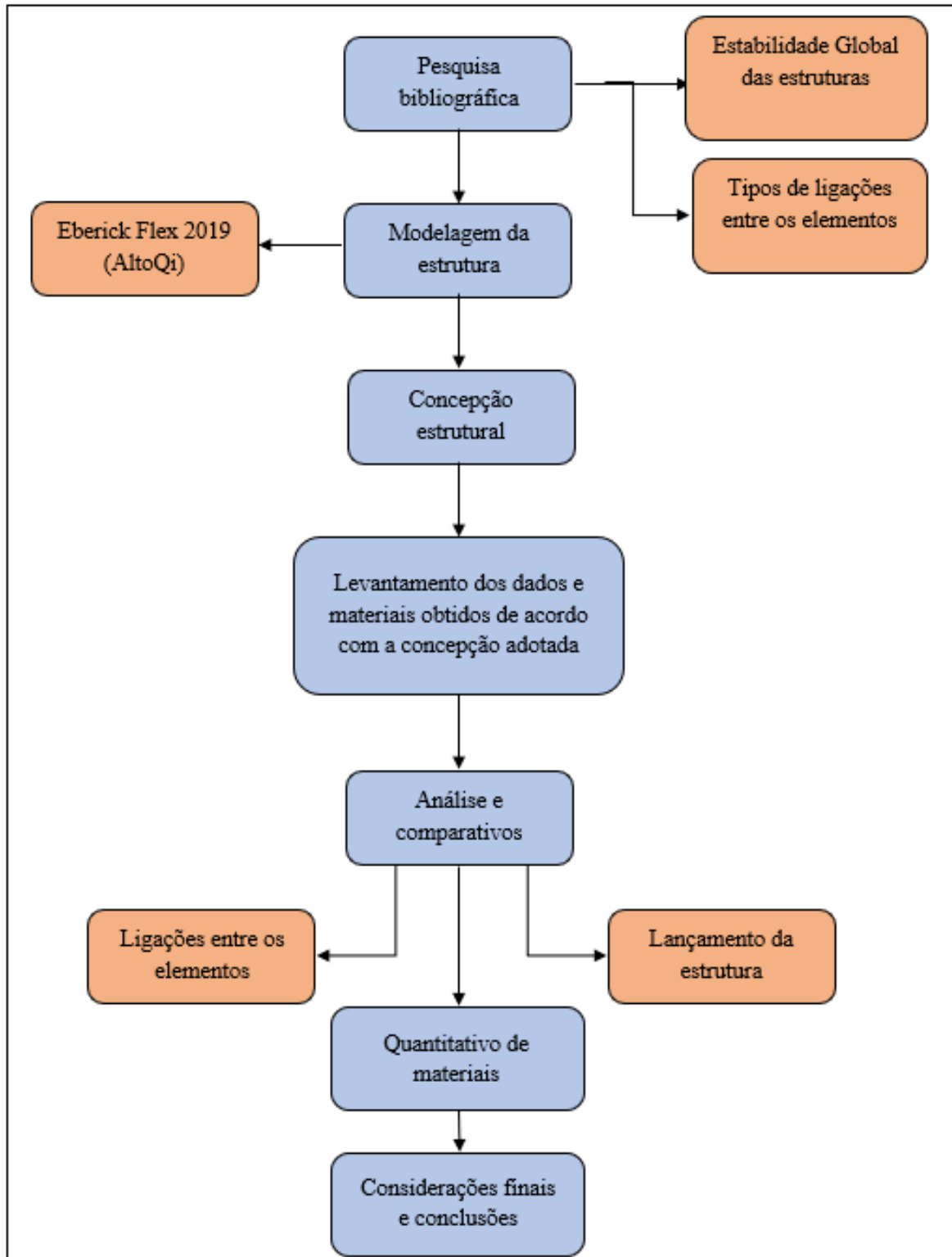


Figura 2 – Fluxograma das etapas do trabalho.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente, foi feito o lançamento completo da estrutura no software Eberick Flex 2019. Após isso, as análises foram desenvolvidas e coletadas de acordo com cada concepção adotada.

3.1 Caso 01: Lançamento do Pilar (P19)

Nesta primeira análise, é feito um estudo da viga (V7) e dos pilares (P18 e P20) em relação ao quantitativo de aço e seus momentos fletores. Na figura 3, o processamento da estrutura é realizado sem o pilar (P19). Com isso, haverá um aumento de esforços na viga (V7), assim como nos pilares (P18 e P20).

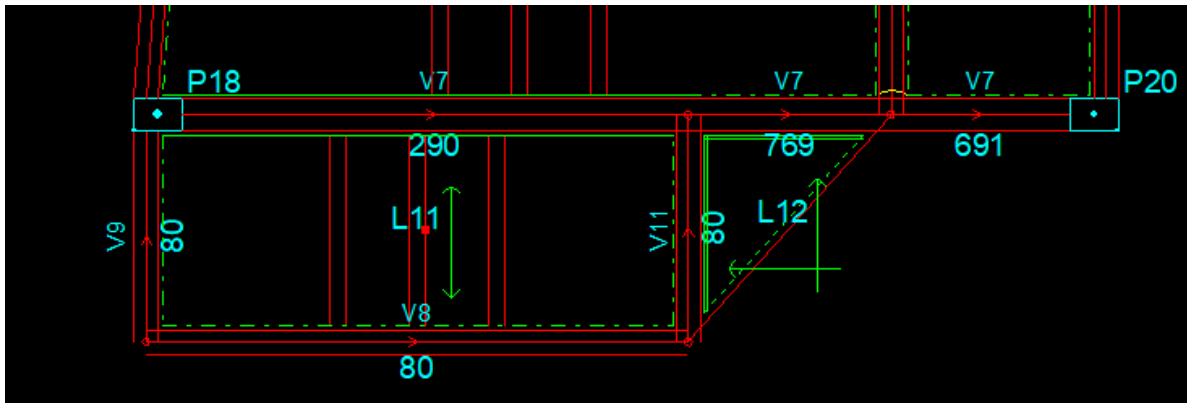


Figura 3 – Estrutura sem o pilar (P19).

Em seguida, o pilar (P19) é lançado como mostra a Figura 4. Após isso, observou-se que houve uma redução da taxa de aço e momentos fletores dos elementos por causa do apoio que o pilar irá dar à viga (V7). Na análise inicial, o P18 que tinha 4 Ø 12.5 e o P20 6 Ø 12.5, ambos passaram a ter 4 Ø 10.0 com a segunda concepção adotada. Além disso, ocorreu uma diminuição do quantitativo de aço na viga (V7), como mostrado na Tabela 01 abaixo.

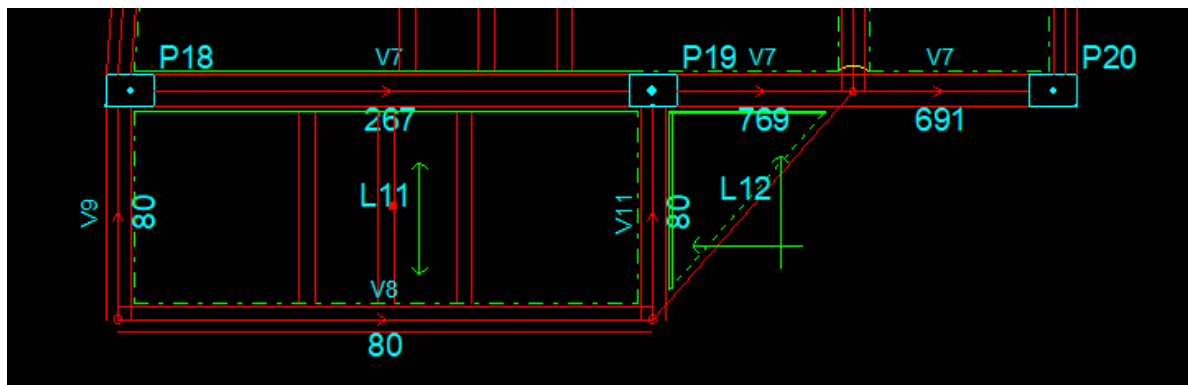


Figura 4 – Estrutura com o pilar (P19).

Tabela 1 – Caso 01.

| ELEMENTOS ESTRUTURAIS | QUANTITATIVO DE AÇO (mm) | MOMENTO FLETOR POSITIVO (Kgf.m) | MOMENTO FLETOR NEGATIVO (Kgf.m) |
|-----------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------|
| Estrutura sem o pilar (P19) | | | |
| Viga (V7) | Negativo - 6 Ø 12.5 Positivo - 4 Ø 12.5 | 5476 | - |
| Pilar (P18) | 4 Ø 12.5 | - | -7458 |
| Pilar (P20) | 6 Ø 12.5 | - | -7841 |
| Estrutura com o pilar (P19) | | | |
| Viga (V7) | Negativo - 3 Ø 12.5 Positivo - 2 Ø 12.5 | TRECHO 01 – 1739 TRECHO 02 - 833 | - |
| Pilar (P18) | 4 Ø 10.0 | - | -2179 |
| Pilar (P19) | 4 Ø 10.0 | - | -3490 / -2583 |
| Pilar (P20) | 4 Ø 10.0 | - | -1796 |

Portanto, após a comparação dos resultados obtidos em cada concepção, foi constatado que com o lançamento do pilar (P19) houve uma redução de esforços na viga (V7), nos pilares (P18 e P20), e conseqüentemente na taxa de aço destes elementos estruturais. Nesse viés, o custo financeiro dos materiais também foi reduzido.

3.2 Caso 02: Vinculações da viga (V5) nos pilares (P10 e P11)

Nesta análise, o objetivo foi apresentar as diferentes vinculações e mostrar através dos resultados, os valores referentes ao quantitativo de aço, momento fletor positivo, negativo e deslocamentos de acordo com cada concepção adotada. A Figura 5 traz uma concepção em que foi adotada uma vinculação rotulada, gerando um momento fletor positivo na viga (V5) de 5169 kgf.m, e com isso um quantitativo de aço positivo de 4 Ø 12.5.

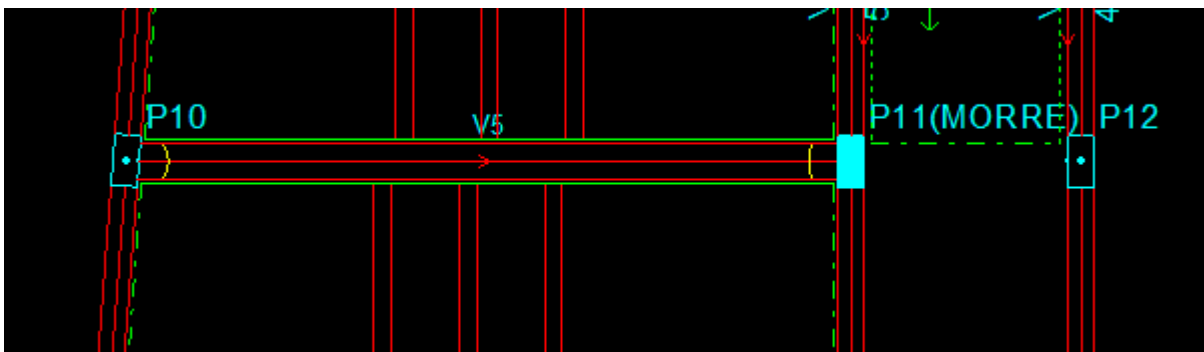


Figura 5 – Vinculação rotulada.

Em seguida, foi utilizada uma vinculação engastada, como mostrado na Figura 6. Com este tipo de ligação, houve o surgimento do momento fletor negativo nos pilares (P10 e P11). Além disso, a estrutura torna-se mais rígida e com uma melhor estabilidade global. Em virtude disso, ocorreu uma modificação na taxa de aço e esforços nestes elementos estruturais.

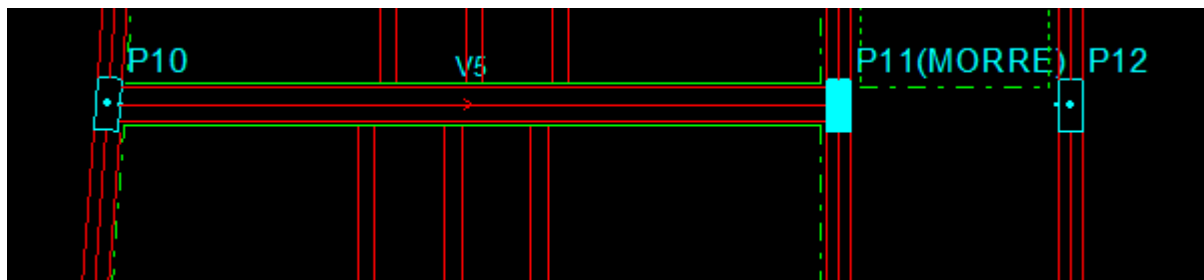


Figura 6 – Vinculação engastada.

Por fim, foi avaliado o comportamento da estrutura quanto a utilização da vinculação semirrígida, como mostrado na Figura 7. Com esta ligação, os esforços de momento fletor positivo foram redistribuídos em 60%, sendo respeitado o que traz a ABNT NBR 6118:2014, onde autoriza uma redistribuição maior que 25% quando analisada a linha neutra do elemento estrutural, obtendo 4257 kgf.m na viga (V5), -1559 kgf.m de momento fletor negativo no pilar (P10) e -1201 kgf.m no pilar (P11). Ademais, houve uma mudança na taxa de aço dos elementos, como mostrado na Tabela 2.

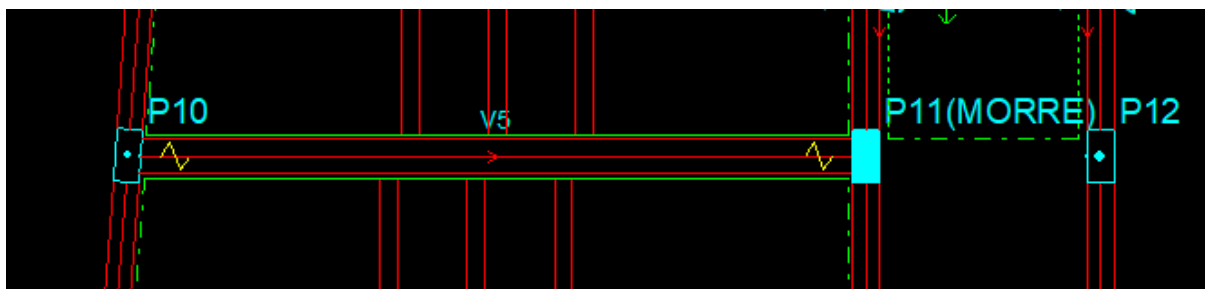


Figura 7 – Vinculação semirrígida.

Tabela 2 – Caso 02.

| ELEMENTOS ESTRUTURAIS | QUANTITATIVO DE AÇO (mm) | MOMENTO FLETOR POSITIVO (Kgf.m) | MOMENTO FLETOR NEGATIVO (Kgf.m) |
|------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Vinculação Rotulada | | | |
| Viga (V5) | 2 Ø 10.0 4 Ø 12.5 | 5169 | - |
| Pilar (P10) | 4 Ø 10.0 | - | - |
| Pilar (P11) | 4 Ø 12.5 | - | - |
| Vinculação Engastada | | | |
| Viga (V5) | 3 Ø 10.0 3 Ø 12.5 | 4008 | - |
| Pilar (P10) | 4 Ø 12.5 | - | -1695 |
| Pilar (P11) | 8 Ø 12.5 | - | -1804 |
| Vinculação Semi Rígida | | | |
| Viga (V5) | 2 Ø 10.0 3 Ø 12.5 | 4257 | - |
| Pilar (P10) | 4 Ø 10.0 | - | -1559 |
| Pilar (P11) | 6 Ø 12.5 | - | -1201 |

Logo após as análises, observou-se que quando utilizada uma vinculação rotulada, a estrutura terá uma menor rigidez em relação a estabilidade global, mas haverá uma diminuição da taxa de aço nos pilares e aumento na viga (V7), visto que, o momento fletor atuante só será o positivo. Contrário a isso, quando foi utilizada a vinculação engastada, ocorreu a diminuição do momento fletor positivo na viga e surgimento do momento fletor negativo nos pilares. Além disso, com esta vinculação a estrutura tornou-se mais rígida.

Na concepção final, foi adotada uma vinculação semirrígida, obtendo uma redistribuição dos esforços e mantendo o equilíbrio da taxa de aço dos elementos como ilustrado nos resultados da Tabela 2.

3.3 Caso 03: Rotação do pilar (P11)

Neste terceiro caso, foi analisada a concepção adotada em relação à rotação do pilar (P11), conforme as Figuras 8 e 10. Segundo Kirsten (2017) [2], é importante o momento crítico que solicita o pilar passe a atuar em sua direção de maior inércia (maior dimensão). Nesse contexto, haverá uma redução da taxa de aço no pilar, conforme mostrada na Tabela 3.



Figura 8 – Maior dimensão do pilar voltada para o eixo Y.

Na Figura 9 abaixo, o maior momento que solicita este pilar atua na direção de menor inércia. Com isso, para combater esse momento, a taxa de aço deste elemento precisará ser mais alta, ocasionando muitas vezes em elevados custos financeiros.

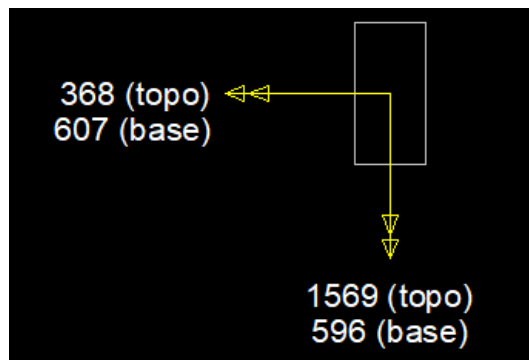


Figura 9 – Pilar no eixo Y.

Em uma segunda concepção, o pilar (P11) foi rotacionado como mostra a Figura 14 abaixo.

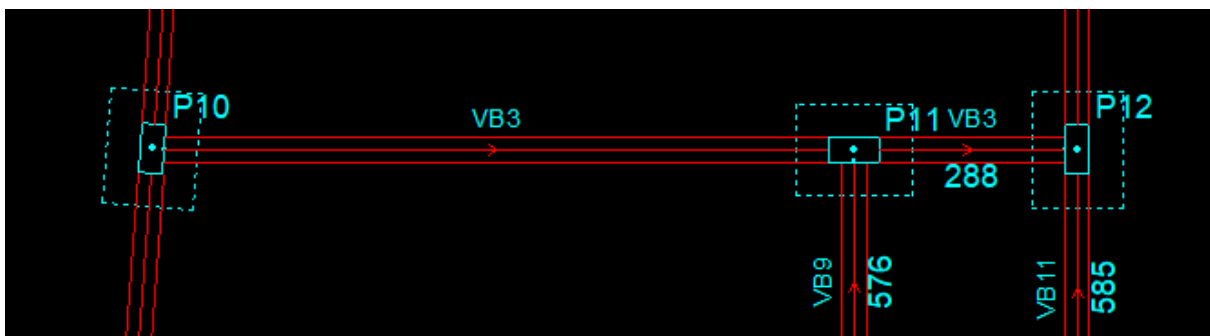


Figura 10 – Maior dimensão do pilar voltada para o eixo X.

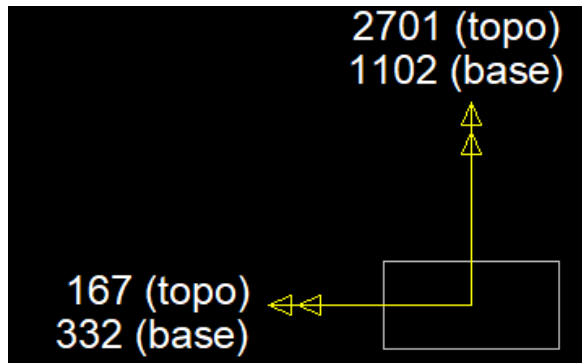


Figura 11 – Pilar no eixo X.

Tabela 3 – Caso 03.

| ELEMENTO ESTRUTURAL | PAVIMENTOS | QUANTITATIVO DE AÇO (mm) |
|---|------------|--------------------------|
| Maior dimensão do pilar voltada para o eixo Y | | |
| Pilar (P11) | TÉRREO | 4 Ø 10.0 |
| | SUPERIOR | 8 Ø 12.5 ou 10 Ø 10.0 |
| Maior dimensão do pilar voltada para o eixo X | | |
| Pilar (P11) | TÉRREO | 4 Ø 10.0 |
| | SUPERIOR | 4 Ø 12.5 ou 6 Ø 10.0 |

Portanto, após rotacionar o pilar (P11) e visualizar que o maior momento está atuando no seu eixo de maior inércia, a estrutura apresentará uma maior rigidez e conseqüentemente facilidade para combater este momento. Ademais, acontecerá uma redução significativa do quantitativo de aço neste elemento, chegando a 50% quando utilizadas barras de 12.5 mm e 40% com barras de 10.0 mm, ambas no pavimento superior.

4. CONCLUSÕES

Mediante as análises feitas e obtenção dos diferentes dados em cada caso abordado no artigo, foi possível observar a importância de uma concepção bem desenvolvida no momento da elaboração de um projeto estrutural. Nesse sentido, a primeira análise (Caso 01), resultou na redução de esforços na viga (V7), nos pilares (P18 e P20), e conseqüentemente na taxa de aço destes elementos estruturais.

No segundo caso, foi avaliado os tipos de vinculações e verificado que o mais adequado para este projeto seria a ligação semirrígida, pois ligações rígidas podem ocasionar em determinados casos elevadas taxas de aço e vinculações rotuladas deixam a estrutura com uma menor estabilidade global e um maior deslocamento. Sendo assim, a ABNT NBR 6118:2014 [1] permite utilizar a vinculação semirrígida e redistribuir os esforços em até 25% para estruturas com o coeficiente gama z menor que 1.10 e até 10% para estruturas com o coeficiente gama z maior que 1.10. Outrossim, para adotar uma redistribuição acima de 25%, é necessário avaliar a linha neutra do elemento em questão.

Por fim, no terceiro caso foi abordada a rotação do pilar, rotacionando seu eixo de maior inercia para o eixo de maior solicitação de momento. Com isso, teve como resultado uma maior rigidez da estrutura e diminuição da taxa de aço dos elementos estruturais.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- [2] KIRSTEN, André Egon. **Como otimizar o dimensionamento dos pilares**. AltoQi 2017. Disponível em: Como otimizar o dimensionamento de pilares? (altoqi.com.br).
- [3] KOERICH, Rodrigo Broering. **Concepção estrutural – Principais erros de concepção que tornam uma estrutura cara**. Florianópolis: AltoQi, 2018. Disponível em: Concepção estrutural – Principais erros de concepção que tornam uma estrutura cara (altoqi.com.br).
- [4] PINHEIRO, Libânio Miranda. **Fundamentos do concreto e projetos de edifícios**. São Carlos, São Paulo, 2007. Apostila. Universidade de São Paulo – USP.

ÁREA TEMÁTICA: Desempenho e durabilidade

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ABSORÇÃO E PERDA DE MASSA DO GESSO EXPOSTO À AMBIENTES DISTINTOS

RODRIGUES, Sheila Daiane de Sousa¹; SOUSA, José Getúlio Gomes de²; OLIVIER, Nelson Cárdenas³

¹ Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, sheila-dsr@hotmail.com, 0000-0002-0902-1794

² Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, jose.getulio@univasf.edu.br, 0000-0002-8151-0971

³ Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, nelson.cardenas@univasf.edu.br, 0000-0003-0501-4949

RESUMO

Devido à sua disponibilidade, acabamento estético, desempenho térmico e acústico, entre outras características, o gesso vem ganhando espaço no mercado. Assim, é importante avaliar a durabilidade do material a longo prazo para uma maior confiabilidade das características tecnológicas do material. Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo contribuir para o estudo do gesso com a presença de hidrorrepelente quando submetido ao envelhecimento natural. Foram avaliadas as relações água/gesso de 0,7 e 0,9 e um teor de hidrorrepelente 0,4%, em relação a massa de gesso. O gesso de referência (sem hidrorrepelente) e o gesso contendo hidrorrepelente de massa foram avaliados na idade “zero” e após 180 dias de exposição em dois ambientes distintos (ambiente interno e ambiente externo). Os corpos de prova foram avaliados quanto à absorção total por imersão total, perda de massa e absorção por capilaridade. Após o envelhecimento percebeu-se que a absorção foi menor nos corpos de prova contendo hidrorrepelente, sendo que os corpos de prova expostos em ambiente interno apresentaram uma absorção inferior a 5%. Em relação à perda de massa, a exposição em ambiente externo levou a valores expressivamente maiores comparados aos demais, independentemente da relação água/gesso utilizada. Quanto à absorção por capilaridade, a presença de hidrorrepelente resultou na redução do coeficiente de capilaridade.

Palavras-chave: gesso; hidrorrepelente; envelhecimento natural; durabilidade.

ABSTRACT

Due to its availability, aesthetic finish, thermal and acoustic performance, plaster has been gaining visibility in the civil construction market. Therefore, it is important to assess the material's long-term durability for greater reliability of the material's technological characteristics. Thus, the present work aims to contribute to the study of gypsum with the presence of water repellent when subjected to natural aging. Water/gypsum ratios of 0.7 and 0.9 and a water repellent content of 0.4% in relation to the plaster mass were evaluated. The reference gypsum (without water repellent) and the gypsum containing water repellent mass were evaluated at “zero” age and after 180 days of exposure in two different environments. The specimens were evaluated for total absorption by total immersion, loss of mass and absorption by capillarity. After aging, it was noticed that the absorption was lower in the specimens containing water repellent, and the specimens exposed in an internal environment showed absorption of less than 5%. Regarding mass loss, exposure to an external environment led to significantly higher values than the others, regardless of the water/gypsum ratio used. As for capillary absorption, the presence of water repellent resulted in a reduction in the capillary coefficient.

Keywords: plaster; water repellent; natural aging; durability.

1. INTRODUÇÃO

O gesso é um aglomerante aéreo produzido por meio da calcinação da gipsita. Á medida que a temperatura ultrapassa 100°C há perda parcial ou total da água de cristalização e entre 140-160°C ocorre a perda de 1,5 mols de água, resultando na formação do hemi-hidrato β [1]. Entre os usos do gesso β de fundição está a moldagem de blocos de vedação, tais

blocos vêm ganhando espaço no mercado por se mostrar um material de baixo consumo energético, baixo custo de produção, boa capacidade de isolamento térmico, boa capacidade de isolamento acústico e resistência à compressão.

No Brasil, é possível encontrar residências construídas utilizando blocos de gesso principalmente na região do Araripe, localizado no sertão de Pernambuco, onde são registradas precipitações anuais baixas, da ordem de 600 mm/ano, e em Gravatá, localizado no agreste de Pernambuco, com média de precipitação anual em torno de 300 mm/ano onde os blocos de gesso são empregados na construção de casas de alto padrão. Ao se adotar blocos de gesso para a execução de alvenaria, deve-se levar em consideração o tipo de ambiente em que o material será empregado, pois devido à solubilidade dos produtos de gesso de 2,07 g/l a 25 °C, existe uma limitação para a utilização destes sem tratamento adequado, ficando restrito a ambientes internos e secos [2]. Assim é cada vez mais recomendado que se faça uso de blocos de gesso contendo hidrorrepelente, que é um aditivo químico capaz de reduzir a ação da umidade no material, contribuindo assim para a sua durabilidade.

A durabilidade é um fator importante para que haja confiabilidade nas características tecnológicas de um novo material por isso é fundamental o conhecimento de suas condições de uso e de sua vida útil [3]. Uma das formas de estudar a durabilidade de um material é submetendo o material ao envelhecimento, onde o envelhecimento é entendido como um conjunto de alterações físicas e químicas que ocorrem na estrutura do material. O envelhecimento dos materiais de construção decorre da degradação e se dá em função da exposição à fatores como variação de temperatura, radiação solar e variação de umidade, de modo que a resistência a esses fatores é essencial durante o período de uso [4].

Entre as metodologias para o estudo da durabilidade está submeter o material ao envelhecimento natural. O envelhecimento natural visa avaliar de que forma fatores climáticos influenciam nas propriedades físicas e mecânicas básicas e como essas características mudam ao longo do tempo, de modo que os resultados sejam usados no desenvolvimento de materiais com melhora nas propriedades, além de possibilitar uma avaliação da sua durabilidade.

Diante da viabilidade técnica e econômica do uso do gesso na construção civil, o presente artigo tem como objetivo contribuir para o estudo do gesso com a presença de hidrorrepelente quando submetido ao envelhecimento natural, considerando ambientes distintos, por meio da análise da absorção por imersão total, absorção por capilaridade e perda de massa.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

i. Gesso beta

No desenvolvimento da pesquisa foi utilizado o gesso de fundição (Sulfato de cálcio hemi-hidratado) obtido no Polo Gesseiro do Araripe, em Araripina – PE. O gesso do estudo foi caracterizado quanto à granulometria, massa unitária e quanto aos teores de água livre e de cristalização. A caracterização do gesso beta pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do gesso beta.

| Propriedade | Valor encontrado | Valor normativo NBR 13207 [5] | Método de ensaio |
|-------------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
| Granulometria (% passante) # 0,29mm | (99,81±0,01) | ≥ 90% | NBR 12127 [6] |
| Massa unitária (kg/m ³) | (0,64±0,001) | ≥ 600 | NBR 12127 [6] |
| Água livre (%) | (0,3±0,02) | ≤ 1,3 | NBR 12130 [7] |
| Água de cristalização (%) | (8,39±1,24) | 4,2 a 6,2 | NBR 12130 [7] |

A NBR 13207 ABNT de 2017 [5] especifica que os gessos para fundição tenham, no mínimo, 90% passante na peneira de abertura de 0,29 mm e a massa unitária de, no mínimo, 600 kg/m³. Assim, o material analisado atende a esses requisitos. Quanto as demais propriedades, o percentual de água livre atendeu ao valor normativo e está relacionada a água removida quando o material é aquecido, onde um maior percentual de água livre pode estar ligado à exposição a ambientes úmidos ou ao armazenamento inadequado do material. Em relação ao percentual de água de cristalização encontrado, o valor foi superior a 6,2%. O teor de água de cristalização evidencia a condição de calcinação da gipsita, apresentando relação com

a composição do gesso, variando entre a gipsita, hemi-hidrato e anidritas. Teores acima de 6,2 % podem indicar a presença de material não calcinado e abaixo de 4,2 %, super calcinado [8].

ii. Hidrorrepelente

Além do gesso, foi utilizado um hidrorrepelente de massa para gesso à base de silano/siloxano. Em relação ao hidrorrepelente, foi realizada a determinação da massa específica seguindo o procedimento estabelecido pela NBR 11768 – 3 [9] A utilização da referida norma, justifica-se em razão da ausência de uma norma para a determinação da massa específica de aditivos para gesso, outro ponto, é que o método apresentado possibilita o ensaio quando o aditivo utilizado é líquido, como no caso do aditivo usado na pesquisa. Desse modo, obteve-se uma massa específica de 1,00 g/cm³.

iii. Definição das dosagens

Foram utilizadas as relações água/gesso de 0,7 e 0,9 com o intuito de manter as características de fabricação comercial dos blocos de gesso do Polo Gesseiro do Araripe [10]. Foram produzidos corpos de prova de referência (sem hidrorrepelente) e corpos de prova com a adição do hidrorrepelente de massa com as duas relações água/gesso já citadas. Em relação ao hidrorrepelente, foi utilizada a adição de 4ml do hidrorrepelente para cada kg de gesso. Essa dosagem foi adotada com base em análises feitas por Rodrigues [11]. A identificação dos corpos de prova está descrita na Tabela 2.

Tabela 2 – Identificação dos corpos de prova.

| Identificação | Tipo | Relação água/gesso |
|---------------|--------------------------|--------------------|
| GR7 | Referência | 0,7 |
| GH7 | Hidrorrepelente de massa | 0,7 |
| GR9 | Referência | 0,9 |
| GH9 | Hidrorrepelente de massa | 0,9 |

2.2 Métodos

i. Moldagem dos corpos de prova

Para as análises das propriedades do material antes e após a exposição em diferentes ambientes, foram moldados corpos de prova (CP's) tanto com a pasta de gesso de referência (GR), que foi preparada conforme o item 4.3.2 da NBR 12129 [12], quanto corpos de prova contendo o hidrorrepelente de massa, conforme o procedimento utilizado para a moldagem dos corpos de prova de referência, havendo a adição do hidrorrepelente à água de amassamento do gesso.

Para o ensaio de absorção por imersão total foram moldados corpos de prova cúbicos, (5x5x5) cm, sendo o mesmo corpo de prova utilizado também para a determinação da perda de massa. Enquanto que, para a avaliação da absorção por capilaridade, foram moldados corpos de prova prismáticos, (4x4x16) cm.

ii. Ambientes e tempo de exposição

Os corpos de prova foram produzidos em dois grupos, onde um grupo foi exposto em um ambiente interno e outro grupo foi exposto em um ambiente externo por um período de 6 meses (29 de setembro de 2021 até 29 de março de 2022). O ambiente interno fica localizado no Laboratório de Ensaios de Materiais e Técnicas Construtivas (LABMATEC), onde o material foi disposto sobre um estrado, como mostra a Figura 1.



Figura 1- Disposição dos corpos de prova em ambiente interno.

Já o ambiente externo fica localizado no primeiro pavimento do prédio onde se encontra o LABMATEC, onde foi disposto sobre estrados apoiados em pallets, conforme visto na Figura 2.



Figura 2 – Disposição dos corpos de prova em ambiente externo.

Esse local foi escolhido por ser uma área ampla que possibilitaria a disposição adequada dos corpos de prova expostos além de estar próximo à estação meteorológica da Univasf o que facilita o acompanhamento dos dados meteorológicos por meio do site do Laboratório de Meteorologia (LabMet).

iii. Propriedades avaliadas

As propriedades avaliadas antes e após a exposição ocorreram consoante com os métodos indicados na Tabela 3.

Tabela 3 – Ensaio realizados antes e após o envelhecimento.

| Propriedade | Método de ensaio |
|--|------------------|
| Absorção por imersão total (%) | NBR 16495 [13] |
| Perda de massa (%) | NBR 13554 [14] |
| Absorção por capilaridade (kg/m ² .s) | C1794-15 [15] |

Para a determinação da perda de massa foi feita uma adaptação da NBR 13554 [14], que trata do ensaio de durabilidade por molhagem e secagem do solo-cimento, visto que o tempo de submersão foi de 2h e a temperatura de secagem foi de 40°C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 mostra um resumo dos dados meteorológicos ao longo do período em que os corpos de prova ficaram em campo. As médias mensais foram calculadas usando como base as planilhas disponibilizadas no site do Laboratório de Meteorologia da UNIVASF (Labmet).

Tabela 4 – Dados meteorológicos referentes ao ambiente de exposição externo.

| Dados meteorológicos | Tempo de exposição | | | | | | | |
|--|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2021 | | | 2022 | | | | |
| | set-out | out-nov | nov-dez | dez-jan | jan-fev | fev-mar | mar-abr | abr-mai |
| Precipitação (mm) | 69,2 | 65,0 | 122,2 | 105,6 | 61,0 | 63,0 | 20,0 | 18,6 |
| Radiação global (MJ/m ² .dia) | 25,3 | 22,1 | 19,4 | 21,2 | 23,4 | 20,3 | 21,0 | 18,4 |
| Temperatura média do ar (°C) | 28,6 | 27,3 | 26,4 | 25,9 | 26,9 | 26,8 | 27,3 | 26,5 |
| Umidade relativa do ar mínima (%) | 26,6 | 37,7 | 45,8 | 41,7 | 37,9 | 38,2 | 33,5 | 36,6 |
| Umidade relativa do ar máxima (%) | 72,3 | 79,5 | 83,9 | 85,8 | 82,9 | 80,5 | 80,1 | 80,1 |

Nota: Os dados foram retirados do site do Laboratório de Meteorologia da UNIVASF.

3.1 Absorção por imersão total

Por meio da Figura 3 pode-se observar que independente do tempo e do ambiente de exposição, a adição de hidrorrepelente levou a uma redução da absorção de água em relação aos corpos de prova sem hidrorrepelente (GR7 e GR9). O aumento da relação água/gesso também contribuiu para o aumento da absorção visto que GR7 e GH7 obtiveram um menor percentual de absorção se comparados a GR9 e GH9, respectivamente. O aumento da relação água/gesso leva a um maior espaçamento entre os núcleos de cristalização, além disso, com a secagem do corpo de prova a água em excesso evapora dando lugar a poros que irão contribuir para um maior percentual de absorção (poros com diâmetros acima de 0,1 micrômetros).

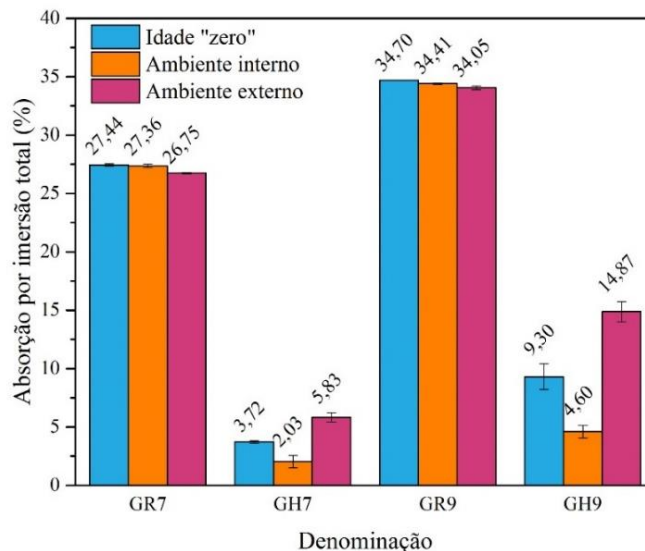


Figura 3 – Gráfico da absorção por imersão antes e após o envelhecimento natural e ambientes distintos.

Foi possível identificar visualmente, por meio das Figuras 4 e 5.a, que os corpos de prova expostos em ambiente interno mantiveram as características visuais idênticas aos corpos de prova da idade "zero". Todavia, a exposição à um ambiente externo causou uma maior degradação do corpo de prova, causando danos que são possíveis de serem comparados visualmente por meio das Figuras 4 e 5.b. Esse desgaste da superfície contribuiu para a perda do hidrorrepelente que atua na matriz envolvendo os cristais de di-hidrato, onde a parte não polar do hidrorrepelente é responsável por dificultar a ascensão de água através do corpo de prova.



Figura 4 – Corpos de prova na idade “zero”.



Figura 5 – Corpos de prova após o envelhecimento. a. Corpo de prova submetido ao envelhecimento em ambiente interno. b. Corpo de prova submetido ao envelhecimento em ambiente externo.

O percentual de absorção da presente pesquisa foi inferior aos obtidos por Rodrigues *et al.* [16] e Silva *et al.* [17] com adição de 0,4% de hidrorrepelente e uma relação água/gesso de 0,7 para a idade “zero”, tais diferenças podem ser devido a fatores como a moldagem e a secagem dos corpos de prova. No entanto, em todas as pesquisas pôde-se perceber que houve uma redução considerável do percentual absorvido quando comparado aos corpos de prova de referência.

Quanto ao cumprimento normativo, apenas os corpos de prova contendo hidrorrepelente (GH7 e GH9) e expostos em ambiente interno atenderam à NBR 16494 [18] que estabelece que a capacidade de absorção para blocos contendo hidrorrepelente deve ser menor ou igual a 5%, quanto a norma europeia EN 12859 [19] que classifica blocos de gesso como do tipo H2 para uma absorção menor ou igual a 5%. Em relação aos corpos de prova expostos em ambiente externo, apenas os do tipo GH7 obtiveram um percentual de absorção inferior a 10%, o que permitem que sejam classificados, segundo a norma EN 520 [20] como sendo do tipo H2, placas de gesso acartonado que podem ser empregadas tanto em áreas secas, quanto em ambientes com a umidade controlada, como por exemplo em cozinhas e banheiros.

3.2 Perda de massa

A avaliação da perda de massa foi feita antes do envelhecimento (idade “zero”) e após o envelhecimento. Além disso, optou-se por realizar a análise antes do ensaio de absorção e após o ensaio de absorção para verificar se haveria um aumento da perda de massa após a submersão dos corpos de prova em água por 2h.

Quanto à perda de massa antes do ensaio de absorção, pode-se observar por meio da Figura 6 que a perda de massa foi consideravelmente maior nos corpos de prova expostos ao ambiente externo. Isso se deve, possivelmente, ao fato desse material ter sua superfície desgastada devido à ação das intempéries durante o período de exposição que correspondeu ao período mais chuvoso na região.

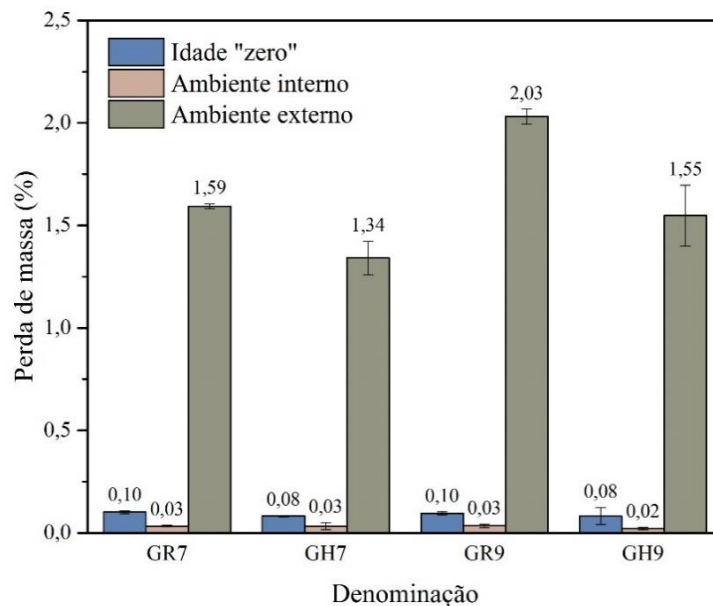


Figura 6 - Gráfico da perda de massa dos corpos de prova antes do ensaio de absorção.

De acordo com a Figura 7, a perda de massa calculada após o ensaio de absorção aumentou em relação à perda de massa antes do ensaio, estando relacionado à dissolução do gesso. Entretanto vale lembrar que a situação em que o material permanecerá submerso em água dificilmente ocorrerá na prática.

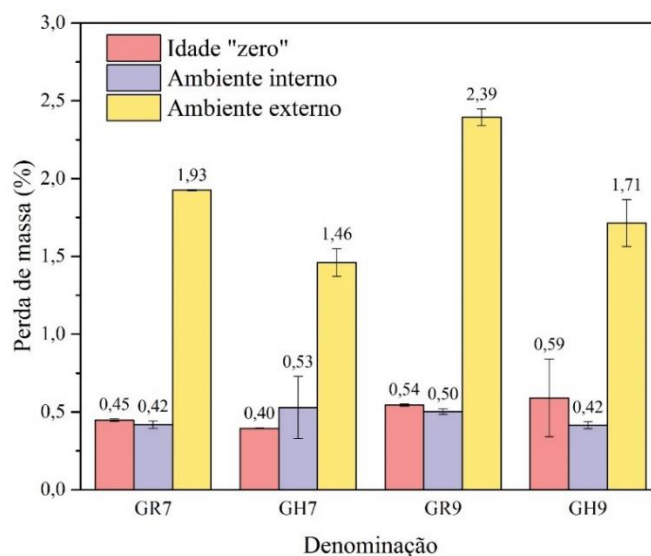


Figura 7 – Gráfico da perda de massa dos corpos de prova após o ensaio de absorção.

3.3 Absorção por capilaridade

Entre os ensaios realizados, a determinação do coeficiente de capilaridade é o que torna mais visível a ação do hidrorrepelente adicionado durante a moldagem do material. Observa-se na Figura 8 que os corpos de prova sem a adição hidrorrepelente (GR7 e GR9) apresentaram um coeficiente de capilaridade bem expressivo, o que significa que a absorção desse material foi consideravelmente maior se comparado aos corpos de prova contendo hidrorrepelente (GH7 e GH9).

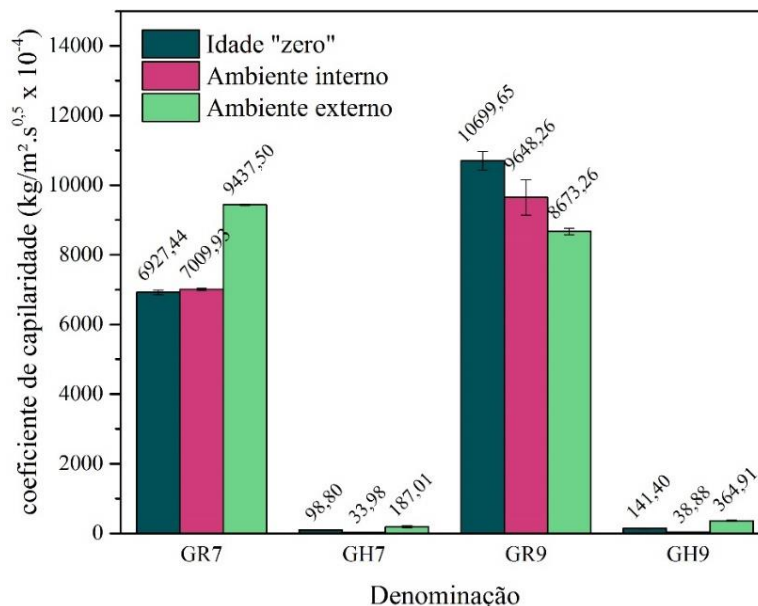


Figura 8 – Gráfico do coeficiente de capilaridade obtido através do ensaio de absorção por capilaridade.

Os poros capilares variam de aproximadamente 0,1 a 100 micrômetros e contribuem para a transferência de água capilar. Em poros mais finos (abaixo de 0,1 micrômetros) a porcentagem de massa de água adsorvida é maior, porém a velocidade de absorção de água é menor. Ou seja, apesar de poros de menor dimensão favorecerem o aumento da pressão capilar, eles também oferecem maior resistência (atrito) à frente de água líquida [21]. Já poros com dimensão maior que 100 micrômetros, contribuem para a permeabilidade da água por gravidade ou entrada de água impulsionada pelo vento [22]. A diferença entre o coeficiente de capilaridade na idade “zero” e após o envelhecimento em ambiente interno para os corpos de prova GH7 e GH9, pode estar relacionado ao fato de que o tempo de exposição propiciou a formação de mais cristais de di-hidrato ou que durante o tempo as reações polimerização para a formação da resina de silicone continuaram ocorrendo levando a uma maior efetividade do hidrorrepelente.

Na pesquisa desenvolvida por Santos [23] foi avaliada a adição de 0,4% de um hidrorrepelente à base de siloxano, sendo os corpos de prova moldados com uma relação água/gesso de 0,75, obtendo-se um coeficiente de capilaridade de $170 \times 10^{-4} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, que foi próximo ao valor obtido para GH7 após o envelhecimento natural em ambiente externo. Com base na classificação da norma DIN 52.617 citada por Santos [23] o material contendo hidrorrepelente e que ficou exposto em ambiente interno pode ser classificado como “quase impermeável” por apresentar um coeficiente menor que $83,3 \times 10^{-4} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, os corpos de prova contendo hidrorrepelente avaliados na idade “zero” e os que foram expostos em ambiente externo são classificados como “preventivo contra a água”, pois apresenta um coeficiente menor que $333 \times 10^{-4} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, já os demais corpos de prova (GR7 e GR9) são ditos materiais de “sucção rápida”.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A absorção por imersão total foi reduzida nos corpos de prova contendo hidrorrepelente (GH7 e GH9) em comparação aos corpos de prova de referência (GR7 e GR9);
- A variação da relação água/gesso resultou em uma maior absorção à medida que houve o aumento da quantidade de água adicionada à massa de gesso;

- A exposição dos corpos de prova ao ambiente externo levou à uma maior degradação superficial e a uma maior absorção;
- A perda de massa foi expressivamente maior nos corpos de prova expostos ao ambiente externo, independentemente de conter ou não, hidrorrepelente;
- O coeficiente de capilaridade foi consideravelmente menor com a presença do hidrorrepelente sendo que os corpos de prova expostos em ambiente interno obtiveram os menores valores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESB pelo suporte financeiro à pesquisa por meio do processo nº 084.0508.2021.0000749-41.

REFERÊNCIAS

- [1] JOHN, Vanderley Moacyr; CINCOTTO, Maria Alba. Gesso de Construção Civil. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 22.2, p. 727-760.
- [2] PIRES SOBRINHO, C. W. A. **Durabilidade das alvenarias de blocos de gesso: Limites de sua utilização**. 2021. 220f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade do Porto, Porto - PT, 2021.
- [3] FARIAS FILHO, J. **Estudo da durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos de construção e granito**. 2010. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade de Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2010.
- [4] Bochen, J. (2015). **Weathering effects on physical–chemical properties of external plaster mortars exposed to different environments**. *Construction and Building Materials*, 79, 192–206.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13207: **Gesso para construção civil - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12127: **Gesso para construção: Determinação das propriedades físicas do pó**. Rio de Janeiro, 2019.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12130: **Gesso para construção - Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrito**. Rio de Janeiro, 1991.
- [8] Ferreira, F. C.; Sousa, J. G. G.; Carneiro, A. M. P. (2019). **Caracterização mecânica do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe**. *Ambiente Construído*, 19, 207-221.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768-3: **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Parte 3: Ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2019.
- [10] SILVA, D. B. P. **Efeito do aditivo hidrofugante nas propriedades e na durabilidade das pastas de gesso de fundição**. 2018. 110f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Federal Vale do São Francisco, Juazeiro, BA, 2018.
- [11] RODRIGUES, S. D. S. **Estudo da durabilidade de hidrorrepelentes e sua influência nas propriedades do gesso**. 2020. 128f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro - BA, 2020.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12129: **Gesso para construção: Determinação das propriedades mecânicas**. Rio de Janeiro, 2019.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16495: Bloco de gesso para vedação vertical – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.

- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13554: **Solo-cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem**. Rio de Janeiro, 2012.
- [15] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. C1794: **Standard Test Methods for Determination of the Water Absorption Coefficient by Partial Immersion**. United States of America, 2015.
- [16] Rodrigues, S. D. S. *et al.* (2021). **Estudo comparativo da influência do uso de hidrorrepelentes nas propriedades no estado fresco e no estado endurecido do gesso beta**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, 6, 64-73.
- [17] Silva, D. B. P. *et al.* (2016). **Avaliação das propriedades do gesso de fundição aditivado com hidrofugante**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Anais... Porto Alegre: ENTAC, 16, 312-326.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16494: **Bloco de gesso para vedação vertical - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.
- [19] BRITISH STANDARD. EN 12859: **Gypsum Blocks - Definitions, Requirements and Test Methods**. United Kingdom, 2011.
- [20] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **EN 520**: Europäische Normung für Gipsplatten. 2009.
- [21] SALOMÃO, M. C. F. **Estudo da estrutura das argamassas de revestimento e sua influência nas propriedades de transporte de água**. 247f. Tese (Doutorado EM Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília-DF, 2016.
- [22] Thomson, M. L. *et al.* (2004). Porosity of historic mortars. 13th International Brick and Block Masonry Conference. Amsterdam.
- [23] SANTOS, A. N. **Comportamento higrotérmico de paredes em gesso – avaliação da adequabilidade a zonas climáticas do Brasil**. 210f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2017.

ÁREA TEMÁTICA: Desempenho e Durabilidade

ANÁLISE DE DESLOCAMENTOS EM VIGAS E LAJES NERVURADAS EM UMA DIREÇÃO DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO MODELOS SIMPLIFICADOS

ROSSATO, Leonardo André¹; SILVA, Leonardo Martins e²;

¹ UTFPR, Apucarana, Brasil, rossatol@alunos.utfpr.edu.br

² UTFPR, Apucarana, Brasil, leonardomartinsesilva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5591-7620>

RESUMO

O deslocamento excessivo de vigas pode levar a diversos problemas numa edificação. Porém, tal cálculo pode ser bastante complexo especialmente para estruturas de concreto armado, devido ao comportamento com não linearidade física acentuada de ambos materiais, concreto e aço. O objetivo deste trabalho é avaliar métodos simplificados para estimativa de deslocamentos em vigas de concreto armado. Tal estudo é de um tema imprescindível, visto que levando em consideração que modelos mais refinados, com alto custo computacional e operacional, nem sempre são viáveis, é fundamental que se avalie modelos simplificados. Constam métodos de cálculo sob perspectiva da norma brasileira de estruturas de concreto armado e modelos consagrados por pesquisadores internacionais com intuito de avaliar a flecha para vigas. O estudo separa três seções de vigas com seções representativas adotadas a partir da bibliografia e aplica os métodos propostos, que é o modelo de Branson e um modelo com rigidez corrigida não linear. Os resultados mostram que o modelo com rigidez corrigida superestima o deslocamento, possivelmente devido ao número de incrementos da análise não linear ou pela ausência da consideração do efeito *Tension stiffening*.

Palavras-chave: concreto armado; vigas; fissuração; não linearidade física.

ABSTRACT

Excessive displacement of beams can lead to several problems in a building. However, exact calculation can be complex, especially for reinforced concrete structures, due to the behavior with known non linear behavior of both concrete and steel materials. The aim of this work is to evaluate simplified methods for reinforced concrete beams displacements estimative. Such study is paramount, as taking into account more refined models leads to high computational and operational costs, and therefore are not always viable, it is essential to evaluate simplified models. Herein calculation methods from the perspective of the brazilian standard for reinforced concrete structures are applied and also models established by international researchers in order to evaluate the deflection of RC beams. The study separates 3 example beams with representative sections adopted from the references and applies the proposed methods, which is the Branson model and a nonlinear stiffness-corrected model. Results show that the stiffness-corrected model overestimates the displacement, possibly due to the number of increments in the nonlinear analysis or the absence of the Tension stiffening effect being taken into account.

Keywords: reinforced concrete; beamns; cracking; non linear behavior.

1. INTRODUÇÃO

Desde o surgimento do concreto armado, a característica intrínseca deste material é fissurar quando sujeito a tensões de tração. O cálculo dos deslocamentos em elementos de concreto é dificultado pelo fato de que devem ser consideradas efeitos de não linearidade física, entre elas a fissuração. Há a possibilidade, mesmo sob ações de serviço, de que regiões de uma viga tenham parte do concreto fissurado abaixo da linha neutra, diminuindo a rigidez das seções nessas regiões [1]. A figura 1 ilustra a fissuração típica em uma viga de concreto armado.

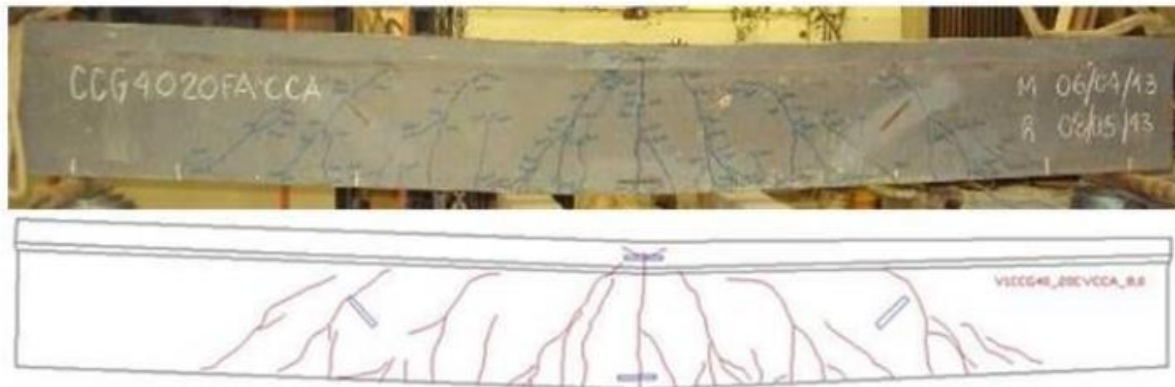


Figura 1 – Fissuras típicas em viga ensada à flexão [2].

Segundo Flório [3], lajes tendem a sofrer mais com as deformações devido à sua esbelteza. Em lajes de pequenas alturas, a fissuração do concreto é relevante, podendo ser condição determinante de projeto, resultando em maiores deslocamentos.

A deformação excessiva ocasiona diversas problemáticas para estruturas de concreto armado. Bastos [4] elenca as principais como: necessidade de nivelamento de superfícies através de revestimento adicional e, por consequência, provocar maiores deformações; fissuras em paredes não estruturais de alvenaria; a possibilidade de afetar o bom funcionamento de esquadrias de portas e janelas e, em particular, os grandes painéis de vitrines; aumenta a probabilidade de ocorrência de flambagem de paredes e pilares esbeltos. Outros efeitos indesejáveis são apontados por Leonhardt [5], como perdas de protensão (em estruturas de concreto protendido) e redistribuição de tensões devido à retração e a fluência em trechos de ligações rígidas com outras peças estruturais.

Vasconcelos [6] relata um caso particular de problemáticas envolvendo a previsão de deformações, a respeito da borda da fachada do Palácio do Planalto que seria recoberta de placas de mármore, o autor descreve que o calculista havia previsto uma flecha de 2,5 cm, e mesmo sendo executada uma contra flecha de 10 cm prevendo a possibilidade de deslocamentos maiores, foram observadas flechas positivas de 20 cm. A problemática causada pela imprecisão da determinação do deslocamento ocasionou um desprendimento das placas de revestimento da borda da fachada, que segundo o autor, há relatos de que uma dessas placas quase atingiu o presidente Jânio Quadros.

A norma vigente para a época das obras de Brasília era pioneira, e sofreu diversas atualizações, sendo a norma brasileira para estruturas de concreto armado atualmente em vigência a ABNT NBR 6118/2014 [7]. A norma mencionada, recomenda limitar o deslocamento da estrutura, por meio do Estado Limite de Serviço (ELS) classificado como Estado Limite de Deformação Excessiva ELS-DEF. Portanto, há a preocupação normativa para que se avalie o deslocamento observado em vigas e lajes (se o ponto de interesse corresponder à seção em que ocorre o maior deslocamento, tal deslocamento é chamado de flecha).

Entretanto, como mencionado inicialmente, existe uma certa complexidade para a análise, visto que se trata de um problema que não atende às condições da Lei de Hooke e do Princípio da Superposição dos Efeitos. Modelos que consideram a não linearidade física com exatidão pode ser inviável, devido ao alto custo computacional e operacional. Dessa maneira, entende-se que há demanda de modelos simplificados que considerem tais efeitos de maneira aproximada.

Assim, o objetivo geral deste estudo é comparar os modelos simplificados de Branson [8], incremental utilizando a rigidez corrigida, e um terceiro modelo utilizando a rigidez apresentada pela norma NBR 6118/2014 [7] para análise global de edifícios. E os objetivos específicos, dessa maneira, se tornam:

- Propor seções de concreto armado que sejam representativas para o problema;
- Obter os deslocamentos para cada uma das seções propostas em função da carga por meio dos modelos propostos;
- Comparar e discutir os resultados obtidos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o objetivo de identificar modelos para o cálculo do deslocamento em elementos fletidos, são pesquisadas formulações consagradas por pesquisadores, como a formulação proposta pela NBR 6118/2014 [7] e Branson [8]. Além de outros modelos simplificados que buscam representar o comportamento de elementos de concreto armado fletidos.

2.1 Modelo de Branson

O modelo proposto por Branson [8] que adota uma rigidez ponderada entre os estádios I e II é o atual modelo empregado pela norma brasileira NBR 6118/2014 [7] para o cálculo dos deslocamentos considerando a fissuração.

$$I_{eq} = \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^m \cdot I_I + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^m\right] \cdot I_{II} \quad (1)$$

onde:

M_r = momento de fissuração;

M_a = momento atuante;

I_I = momento de inércia para o estádio I do concreto;

I_{II} = momento de inércia para o estádio II do concreto;

m = expoente relacionado a perspectiva da análise, $m = 3$ para análises ao longo de todo o comprimento da peça e $m = 4$ para análises em uma única seção [1];

2.2 Modelo incremental utilizando a rigidez corrigida

Para o modelo proposto, a viga ou laje unidirecional é discretizada em “n” elementos, como exemplificado na figura 2 para a divisão em 10 faixas. Os incrementos de carga, ou passos de cargas, são arbitrados, de maneira que é possível analisar o modelo trabalhando entre os estádios I e II (fissurado). A cada acréscimo de esforços externos, ocorre uma alteração nos esforços internos. Em análise linear, a relação entre tais acréscimos é sempre igual. Porém, ao alterar a inércia de uma seção, os esforços internos e deslocamentos podem mudar.

Ao variar a inércia e aplicar um incremento de carga, avalia-se se o momento fletor atinge o momento de fissuração. Se atingir, isso aponta que o concreto não está mais no estádio I e apresenta fissuração. Logo, o momento de inércia do trecho da viga é alterado na análise, isto é, sua rigidez é corrigida. O critério de parada para a iteração é o momento resistente da seção em valor característico, visto que é o maior de momento fletor resistido pela seção. O momento de fissuração é calculado pela expressão (2):

$$M_r = \frac{\alpha \cdot f_{ct} \cdot I_c}{y_t} \quad (2)$$

Sendo:

α : 1,2 para seções T ou duplo T; 1,3 para seções I ou T invertido; 1,5 para seções retangulares;

f_{ct} : resistência a tração do concreto, para ELS-DEF sugere-se utilizar $f_{ct,m}$, que é o valor médio de resistência a tração do concreto;

I_c : momento de inércia da seção bruta de concreto;

y_t : distância até a fibra mais tracionada da seção;

f_{ct} : resistência a tração do concreto, para o ELS-DEF sugere-se utilizar $f_{ct,m}$, que é o valor médio de resistência a tração do concreto. Tal valor é estimado a partir da resistência característica a compressão do concreto f_{ck} , dado por (3):

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

A cada incremento das cargas, são obtidos incrementos nos deslocamentos, considerando a variação da rigidez da estrutura.

2.3 Modelo utilizando consideração aproximada da não linearidade física

A norma NBR 6118/2014 [7] recomenda em seu item 15.7.3 uma consideração aproximada da não linearidade física para análise dos esforços globais de 2ª ordem, apresentando uma rigidez para os elementos. É importante destacar que a norma não recomenda este método para estimativa de deslocamentos. Para efeitos de pesquisa, tal rigidez também é relevante e pode ser utilizada para comparação.

Os valores para a rigidez do elemento dependem da função estrutural do mesmo. Para vigas com armadura positiva diferente da negativa, a norma sugere que se considere para a rigidez à flexão:

$$(E \cdot I)_{sec} = 0,4 \cdot E_c \cdot I_c \quad (4)$$

$(E \cdot I)_{sec}$: rigidez;

E_{cs} : valor representativo do módulo de deformação do concreto;

I_c : momento de inércia da seção bruta de concreto, incluindo, quando for o caso, as mesas colaborantes.;

O valor padrão para o módulo de elasticidade tangente e secante, respectivamente, E_{ci} e E_{cs} segundo a norma é dado por (5) e (7), sendo este último utilizado para o cálculo dos deslocamentos:

$$E_{ci} = 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (5)$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \quad (6)$$

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (7)$$

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de avaliar o deslocamento imediato e analisar os modelos teóricos propostos para a previsão de flechas com consideração de fissuração, são propostos 3 exemplos de seções transversais. Primeiramente são calculadas as propriedades das seções de concreto armado estudadas, na sequência o emprego propriamente dos modelos teóricos que avaliam o deslocamento de elementos de concreto sob carregamento uniformemente distribuído.

Foram utilizadas quatro maneiras de se calcular o deslocamento de uma viga biapoiada em concreto armado. Primeiro um modelo de referência no cenário nacional, que é modelo adotado pela norma brasileira de estruturas de concreto armado. Tal modelo aplica a equação de Branson sem homogeneização da seção, isto é, sem somar a rigidez da armadura ao conjunto.

Um segundo modelo de referência é o de Branson com a seção homogeneizada, como sugere (1), sendo esta uma aplicação razoável, tendo em vista a presença da armadura no estágio I e sua consideração obrigatória no estágio II.

O método avaliado neste trabalho é a rigidez corrigida não linear, em que são aplicados incrementos de carregamento e sua resposta é acrescida pelo incremento da resposta. Para tanto, foram utilizados o software livre de análises estruturais *Ftool* e uma planilha para cálculo matemático. A viga é discretizada em dez elementos, utilizando dez incrementos de carga.

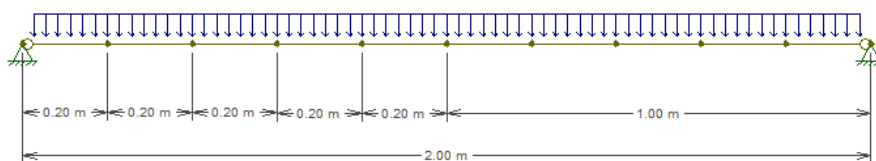


Figura 2 – Viga discretizada

É um último método, a rigidez à flexão secante utilizada para cálculo dos esforços em análise global de edifícios pode ser aplicada diretamente. Assim, para vigas biapoiadas pode-se aplicar a equação da flecha, tabelada em bibliografia de análise estrutural [9].

Apenas para método de comparação, também consta o carregamento que levaria a seção crítica à falha.

3.1 Exemplo 1

Para uma estrutura isostática, a inércia não impacta nos valores dos esforços internos.

Sistema de laje pré-moldada (treliçada) conforme ilustrado na figura 3, a seção é apresentada por Carvalho e Figueiredo Filho [1]. Com altura total de 11,0 centímetros e altura da capa de 3,0 centímetros, usado para compor uma laje de vão livre igual a 4,0 metros, simplesmente apoiada nas extremidades. O concreto considerado é de classe C20, cobrimento de 1,5 centímetros, e a armadura longitudinal considerada é de 10,0 milímetros. A seção é ilustrada na Figura 3 e suas propriedades geométricas descritas na tabela 1.

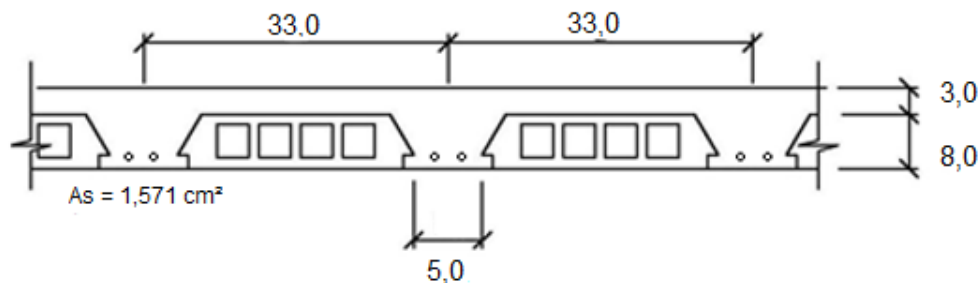


Figura 3 – Seção transversal para o exemplo 1

Tabela 1 – Propriedades obtidas para o exemplo 1.

| | | | |
|------------------------------|---------|-------------------------------|---------|
| Área bruta [cm^2] | 139,00 | Área homog. [cm^2] | 143,50 |
| y_{cg} [cm] | 3,083 | y_h [cm] | 3,258 |
| I_g [cm^4] | 1149,38 | I_h [cm^4] | 1286,24 |
| α_e | 8,221 | d' [m] | 0,000 |
| d [m] | 8,68 | A_s' [m^2] | 0,00 |
| A_s [cm^2] | 0,623 | x_2 [cm] | 1,7887 |
| $f_{ct,m}$ [MPa] | 2,21 | I_2 [cm^4] | 306,70 |

Sendo:

y_{cg} : Altura do centro de gravidade da seção

α_e : Relação entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto para homogeneização da seção transversal;

A_s : Área de armadura passiva inferior

y_h : Altura do centro de gravidade da seção homogeneizada

I_h : Momento de inércia da para a seção homogeneizada

A_s' : Área de armadura passiva superior

x_2 : Altura na linha neutra para o estágio II

I_2 : Momento de inércia para o estágio II

2.2 Exemplo 2

Seção de viga retangular de concreto classe C20, com 12,0 centímetros de largura e 35,0 centímetros de altura, simplesmente apoiada nas extremidades. Vão considerado de 4,0 metros. Armadura aço CA50, bitola de 12,5 milímetros. O exemplo é apresentado por Carvalho e Figueiredo Filho [1]. Suas propriedades constam na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades obtidas para o exemplo 2.

| | | | |
|-----------------------|----------|------------------------|----------|
| Área bruta [cm^2] | 420,00 | Área homog. [cm^2] | 428,76 |
| y_{cg} [cm] | 17,50 | y_h [cm] | 12,70 |
| I_g [cm^4] | 42875,00 | I_h [cm^4] | 46137,94 |
| α_e | 6,577 | d' [m] | 0,000 |
| d [m] | 32,00 | A_s' [m^2] | 0,00 |
| A_s [cm^2] | 1,571 | x_2 [cm] | 6,116 |
| $f_{ct,m}$ [MPa] | 2,21 | I_2 [cm^4] | 7814,87 |

2.3 Exemplo 3

Laje nervurada em uma direção, com a geometria adota conforme mostrado na figura 5, apresentada por Silva [10]. Adotando concreto convencional, classe C20, vão de 2,0 metros, e articulada nos apoios. Armadura considerada 2,0 barras de aço nervurado (CA-50) de 5 milímetros de diâmetro para compor a armadura longitudinal, com cobrimento de 1,5 centímetros. A seção transversal do exemplo 3 é apresentada na figura 4 e suas propriedades constam na tabela 3.

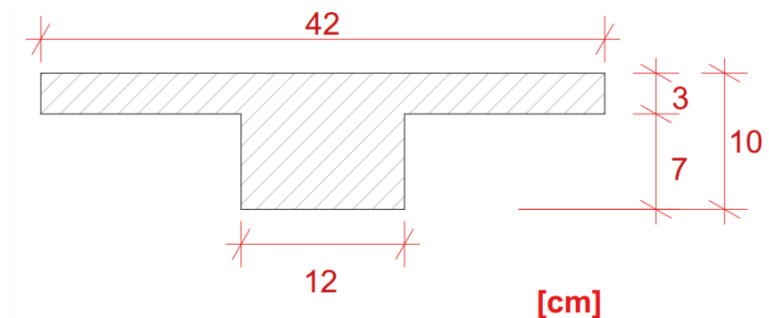


Figura 4 – Seção transversal para o exemplo 3 [10]

Tabela 3 – Propriedades obtidas para o exemplo 3.

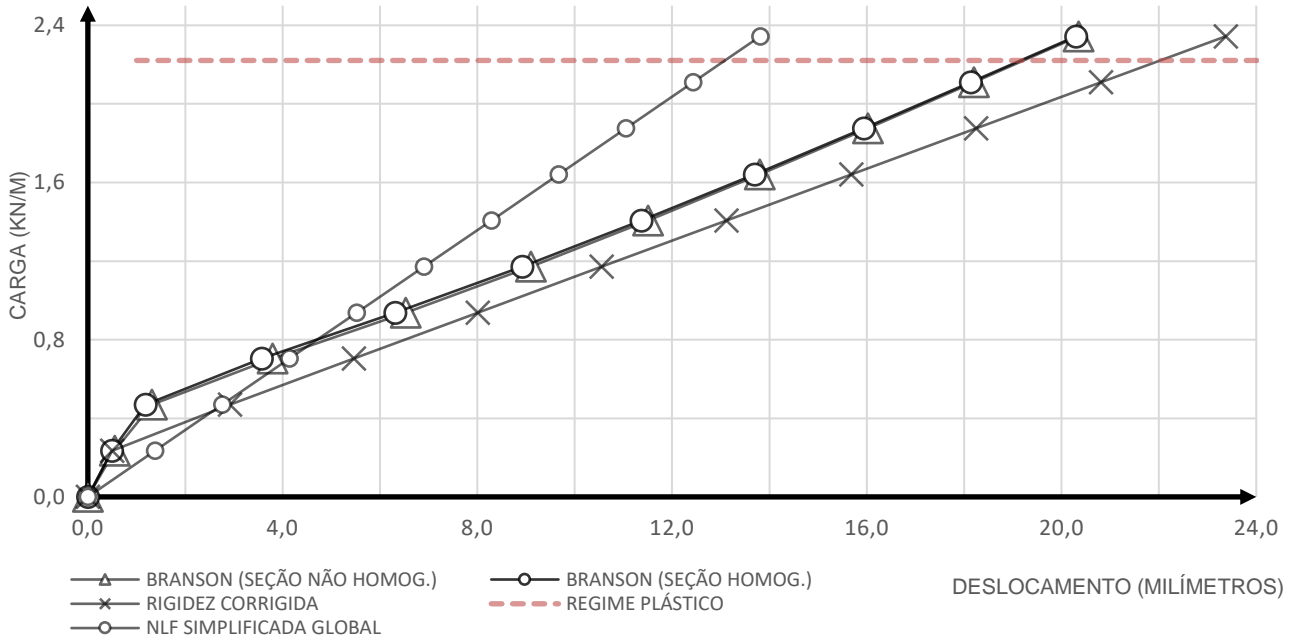
| | | | |
|-----------------------|----------|------------------------|----------|
| Área bruta [cm^2] | 187,99 | Área homog. [cm^2] | 190,82 |
| y_{cg} [cm] | 3,355 | y_h [cm] | 3,420 |
| I_g [cm^4] | 1439,237 | I_h [cm^4] | 1492,607 |
| α_e | 8,221 | d' [m] | 0,000 |
| d [m] | 7,726 | A_s' [m^2] | 0,00 |
| A_s [cm^2] | 0,393 | x_2 [cm] | 1,364 |
| $f_{ct,m}$ [MPa] | 2,21 | I_2 [cm^4] | 166,201 |

4. RESULTADOS

Aplicando os modelos descritos pela bibliografia aos exemplos propostos, chega-se a deslocamentos para toda a reta que compõe a viga. Aqui consta o deslocamento observado no ponto central, cujo deslocamento é o máximo, conhecido como flecha. Não são apresentados os esforços internos obtidos, pois não estão no escopo do estudo.

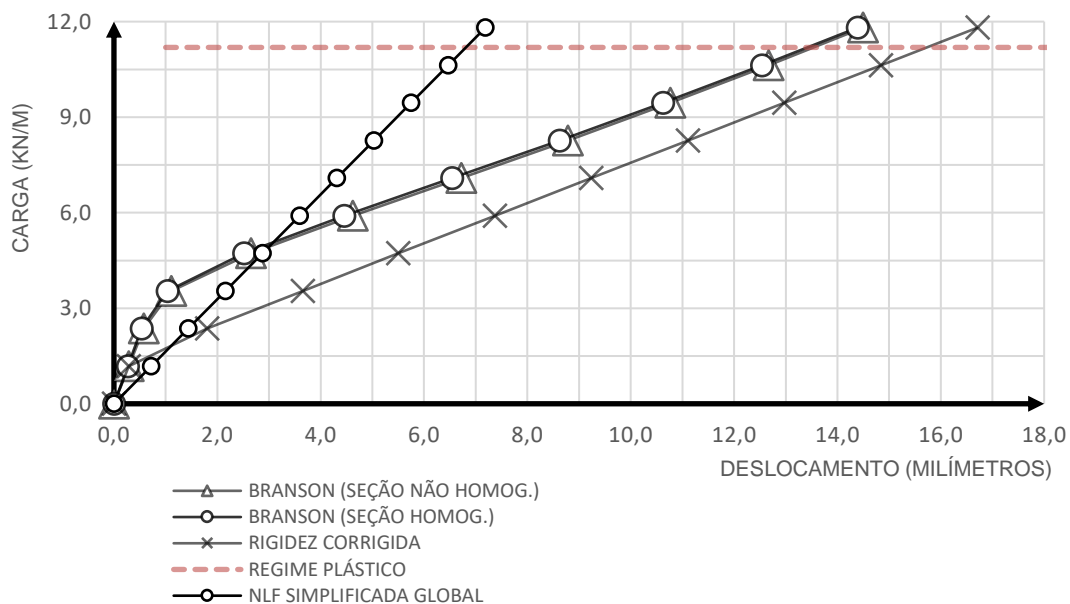
Os resultados para os deslocamentos máximos para o exemplo 1 é apresentado no gráfico 1.

Gráfico 1 – Deslocamentos obtidos para o exemplo 1.



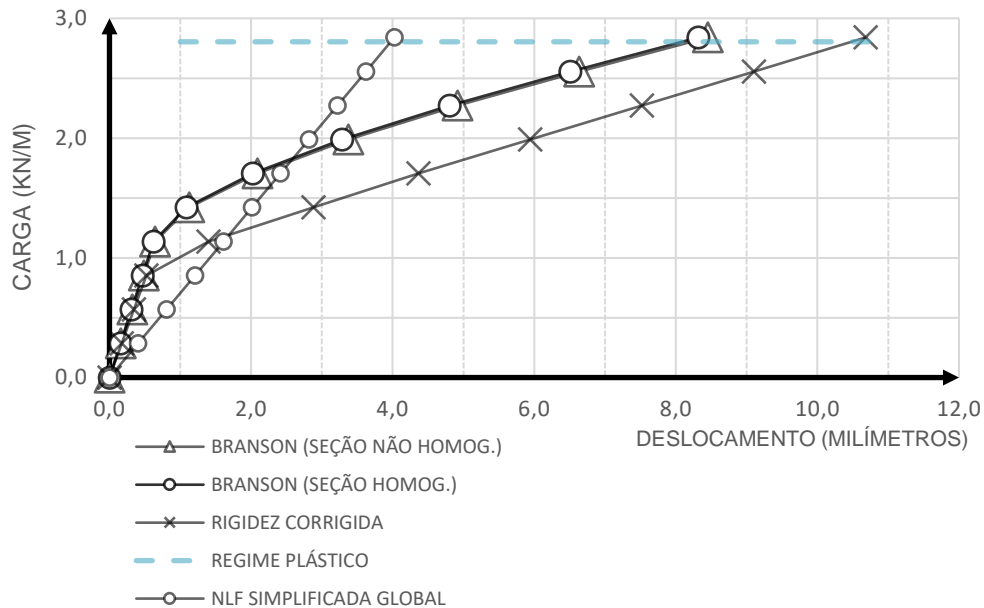
A resposta obtida está dentro do esperado, isto é, o método de Branson com rigidez homogeneizada com maior rigidez, seguido do método de Branson com rigidez não homogeneizada, que ficou praticamente coincidente. Estes apresentam valores bastante superiores de rigidez se comparados ao método da rigidez corrigida não linear.

Gráfico 2 – Deslocamentos obtidos para o exemplo 2.



Novamente os resultados são consistentes. Nota-se uma dispersão pronunciada entre os métodos com o modelo de Branson e o método da rigidez corrigida não linear. Além das propriedades da seção, é possível que os incrementos e a discretização da seção seja o motivo de tal divergência.

Gráfico 3 – Deslocamentos obtidos para o exemplo 3.



Os resultados são representativos, isto é, o método com modelo de Branson com homogeneização da seção foi o com maior rigidez, seguido do com modelo de Branson sem homogeneização, então o método da rigidez corrigida não linear.

Observa-se que o método da rigidez corrigida subestima a rigidez da viga, levando a resultados pessimistas. Pela análise, outro resultado de relevância para o tema é que existe ponto em cada um dos gráficos em que o modelo com rigidez secante simplificada coincide com a rigidez do modelo de Branson, sendo esse valor de 34% da carga última de ruptura para o exemplo 1, 43% da carga última para o exemplo 2, e 64% para o exemplo 3, apresentando o ponto em que este método secante é ótimo.

Além disso, os modelos matemáticos descrevem o comportamento da seção de concreto até o regime plástico traçado no gráfico, a partir desse ponto, inicia-se o estágio 3 de deformação, indicando o início da ruptura.

5. CONCLUSÕES

Por fim, observa-se que o método estudado, não linear com rigidez corrigida, leva a resultados coerentes. Porém, o método subestima a rigidez à flexão, isto é, leva a resultados exagerados para o deslocamento. Pelos resultados, que constam nos gráficos 1, 2 e 3, observa-se que a divergência entre tal modelo e o modelo de Branson ocorre na região da análise em que a fissuração ocorre: nos gráficos, o trecho inicial e a tangente no trecho em estágio II são praticamente paralelos.

Outro fator interessante é a suavização do gráfico observado no modelo de Branson. Nota-se que a rigidez de fronteira entre os comportamentos em estágio I e II possui valores intermediários, que foram bruscos no modelo com rigidez corrigida. Seria propício refazer a análise com rigidez corrigida aumentando a discretização próxima à zona de fissuração e o número de incrementos de carregamento nas iminências da fissuração.

Sabe-se que os resultados para o método com a rigidez corrigida apresentam menor rigidez do que a realidade, visto que foi ignorado o efeito do *Tension stiffening*, ou enrijecimento na tração, em que o concreto tracionado fissurado contribui para a rigidez e redução da flecha. Assim, o modelo de Branson se destaca, pois também apresenta rigidez superior, então é possível que seja mais próximo do real, porém seria necessário estudos com comparação a evidências experimentais para confirmar tal hipótese. Também é possível incluir a rigidez ponderada correspondente ao efeito *Tension stiffening* no concreto fissurado, utilizando o recurso de seção homogeneizada, sendo este outro estudo possível para o tema.

REFERÊNCIAS

- [1] CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4 ed. São Carlos: EdUfscar, 2020. 415 p.
- [2] PIRES, Eliane Fernandes Côrtes et al. **Modos de ruptura e padrões de fissuração de vigas pré-moldadas de concreto armado geopolimérico: Estudo de caso**. Matéria: Rio de Janeiro, v. 23, 2018.
- [3] FLÓRIO, Márcio Cardozo. **Projeto e Execução de Lajes Pré-Fabricadas Unidirecionais com Vigotas em Concreto Armado**. 2004. 240 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2004.
- [4] BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Apostila de Lajes de Concreto Armado**. s/d 113 f. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista, 2021.
- [5] LEONHARDT, Fritz; MÖNNIG, Eduard. **Construções de Concreto: Princípios Básicos do Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado**. Tradução de David Fridman. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 336 p., v. 1.
- [6] VASCONCELOS, Augusto Carlos de. **O concreto no Brasil – Recordes, Realizações, História**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1992. 277 p., v. 1.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- [8] BRANSON, Dan E. **Instantaneous and time-dependent deflections of simple and continuous reinforced concrete beams**. IN: HPR Publication, Alabama Highway Department, U.S. Bureau of Public Roads, n. 7, part 1, p. 1-78 jun. 1965.
- [9] SORIANO, Humberto Lima. **Análise de estruturas – Formulação Matricial e Implementação Computacional**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2005. 360 p.
- [10] SILVA, Daise Fernanda Rubio da. **Análise teórica e experimental do fenômeno de fluência em lajes unidirecionais fabricadas com concreto convencional e autoadensável**. 2021. 107 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2021.

ÁREA TEMÁTICA: Desempenho e Durabilidade

USO DE TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS PARA AVALIAÇÃO DA CORROSÃO DE ARMADURAS NO CONCRETO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA de 1993 a 2021

SILVA, Caroliny Alves¹; OLIVEIRA, Andrielli Morais²; CASCUDO, Oswaldo³

¹ Universidade Federal de Goiás, Goiânia/GO, Brasil, carolinyalves@discente.ufg.br, <https://orcid.org/0000-0002-0492-445X>

² Universidade Federal de Goiás, Goiânia/GO, Brasil, andriellimorais@ufg.br, <https://orcid.org/0000-0001-8977-785X>

³ Universidade Federal de Goiás, Goiânia/GO, Brasil, ocascudo@ufg.br, <https://orcid.org/0000-0003-1879-6396>

RESUMO

A corrosão das armaduras pode reduzir a vida útil, a durabilidade e o desempenho das estruturas de concreto. Desse modo, é justificável estudos que abordem o uso de técnicas eletroquímicas para o monitoramento da corrosão e para a compreensão desse fenômeno. Assim, este artigo tem como objetivo identificar as principais técnicas eletroquímicas, utilizadas pela literatura, para investigar a corrosão das armaduras do concreto, com base na metodologia de Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Adicionalmente, parâmetros destas técnicas foram listados. Como resultado, as técnicas eletroquímicas de potencial de corrosão (E_{corr}), resistência de polarização (R_p), densidade de corrente de corrosão (I_{corr}) e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) foram as técnicas mais amplamente utilizadas e citadas pela literatura no âmbito nacional e internacional entre os anos de 1993 e 2021. Foi possível detectar uma variedade de modelos e fabricantes de potenciostatos. Além disso, perturbações do potencial da ordem de ± 10 mV a ± 30 mV foram registrados ao eletrodo de trabalho (armadura de aço) para se obter valores de R_p e, como consequência, I_{corr} . Para EIS, foram registradas perturbações de 5 mV a 20 mV em torno do eletrodo de trabalho e uma leitura de frequência na ordem de 100 kHz a 0,1 mHz, sendo a mais recorrente de 100 kHz a 10 mHz. A combinação de diferentes técnicas eletroquímicas permite investigar aspectos cinéticos e termodinâmicos da corrosão e morfologia de ataque (mais generalizado ou mais pontual). Isso pode contribuir positivamente para uma tomada de decisão madura quanto ao tempo, recursos financeiros e técnicos para realizar manutenções e reparos em estruturas de concreto armado.

Palavras-chave: Corrosão; Técnicas Eletroquímicas; Concreto Armado; Revisão Sistemática da Literatura.

ABSTRACT

Corrosion of reinforcement can reduce the life cycle, durability and performance of concrete structures. Thus, electrochemical techniques studies for monitoring of corrosion and for understanding this phenomenon are justifiable. Thereby, this paper identifies the main electrochemical techniques, used by literature, to investigating the corrosion of concrete reinforcement, based on the Methodology of Systematic Literature Review (RSL). Additionally, parameters of these techniques were listed. As a result of, the electrochemical techniques of corrosion potential (E_{corr}), polarization resistance (R_p), corrosion current density (I_{corr}) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) were the most widely techniques used and cited by the nationwide and international literature between the years 1993 and 2021. It was possible to detect a variety of models and manufacturers of potentiostats. Furthermore, potential perturbations of the order of ± 10 mV to ± 30 mV were recorded at the working electrode (steel bar) to obtain R_p values and, as a consequence, I_{corr} . For EIS, disturbances from 5 mV to 20 mV were recorded around the working electrode and a frequency reading at the order from 100 kHz to 0.1 mHz, the most recurrent being from 100 kHz to 10 mHz. The combination of different electrochemical techniques allows us to investigate kinetic and thermodynamic aspects of corrosion and its attack morphology (more generalized or more punctual). This can positively contribute to a mature decision-making regarding to the time, financial and technical resources to carry out maintenance and repairs on reinforced concrete structures.

Keywords: Corrosion; Electrochemical Techniques; Reinforced Concrete; Systematic Review.

1. INTRODUÇÃO

Do ponto de vista de desenvolvimento sustentável, estruturas de concreto armado devem manter seu desempenho exigido a longo prazo, especialmente em ambientes agressivos. Contudo, a corrosão das armaduras, iniciada por cloretos ou por carbonatação, pode comprometer de forma significativa a vida útil das estruturas de concreto (HURTADO *et al.*, 2016; GHANEI *et al.*, 2020; XIONG, 2021).

No que tange a normatização brasileira, estudos comprovam que a especificação de máxima relação água/ligante e a definição da espessura de cobrimento mínima podem não ser suficientes para se obter concretos “duráveis” (CASCUDO, 1997; OLIVEIRA; CASCUDO, 2018), sobretudo em ambientes contendo cloretos e CO₂. Neste sentido, concretos com longos períodos de iniciação e propagação da corrosão são muito interessantes. Técnicas eletroquímicas são adequadas para medir as condições das armaduras, aplicando-se uma perturbação que desloca o estado de equilíbrio das armaduras de forma perturbativa ou não perturbativa (CASCUDO, 1997; JIN *et al.*, 2018; RAMÓN *et al.*, 2020). No entanto, para uso das técnicas eletroquímicas não há normatização brasileira. Há apenas recomendações do Instituto Brasileiro do Concreto para medida de potenciais de corrosão em corpos de prova de concreto (IBRACON, 2021).

Portanto, faz-se necessário uma investigação na literatura de técnicas e métodos eficazes para avaliar parâmetros que auxiliem nas avaliações de vida útil residual de estruturas em concreto com problemas de corrosão ou ainda que auxiliem na especificação de concretos duráveis, mesmo localizados em ambientes agressivos. Assim, este artigo tem como objetivo identificar as principais técnicas eletroquímicas, utilizadas pela literatura, para investigar fenômenos de corrosão de armaduras, com base na metodologia de Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Adicionalmente, parâmetros destas técnicas foram listados e comparados. Este artigo avança com contribuições no sentido de listar as técnicas eletroquímicas mais utilizadas pelas literaturas nacional e internacional, bem como os parâmetros associados a elas em campo e em laboratório. Estas informações poderão auxiliar na escolha do método mais adequado para fins de investigação e monitoramento da corrosão.

Destaca-se que a revisão sistemática da literatura – RSL é uma ferramenta útil, uma vez que proporciona a reunião, a organização e a posterior avaliação das informações disponíveis, a partir de pesquisas anteriores e, em sequência, a transformação e a consolidação dessas informações. A categorização de informações por meio do método de RSL tem sido utilizada em vários trabalhos científicos nacionais e internacionais e em várias áreas do conhecimento (VAZ e CARASEK, 2019; ASHMED *et al.*, 2021; LI *et al.*; 2022).

2. METODOLOGIA

Com o intuito de obter profundidade de pesquisa sobre a temática do presente trabalho, foi adotada uma RSL (GRANT e BOOTH, 2009). Ela foi realizada em três etapas (Figura 1), sendo a primeira de planejamento, em que as orientações de pesquisa foram reunidas em um protocolo; a segunda de condução, que consistiu na realização de busca e seleção de estudos aderentes de acordo com os critérios de inclusão e exclusão definidos no protocolo; e, por fim, a terceira de extração e análise dos dados, que possibilitou compreender o estado da arte na área em investigação (TRANFIELD; DENYER e SMART, 2003; DRESCH; LACERDA e ANTUNES, 2015). Isso permite a validação dos dados obtidos e a sua reprodutibilidade. Assim, foi utilizada a ferramenta on-line *Parsifal* com o intuito de conduzir a RSL em etapas

As questões de pesquisa foram:

- quais são as técnicas mais recorrentes no âmbito nacional e internacional para avaliação da corrosão eletroquímica nas armaduras do concreto?
- quais são os principais resultados obtidos por meio destas técnicas?
- quais são suas formas de avaliação em relação ao estado cinético ou termodinâmico da corrosão?

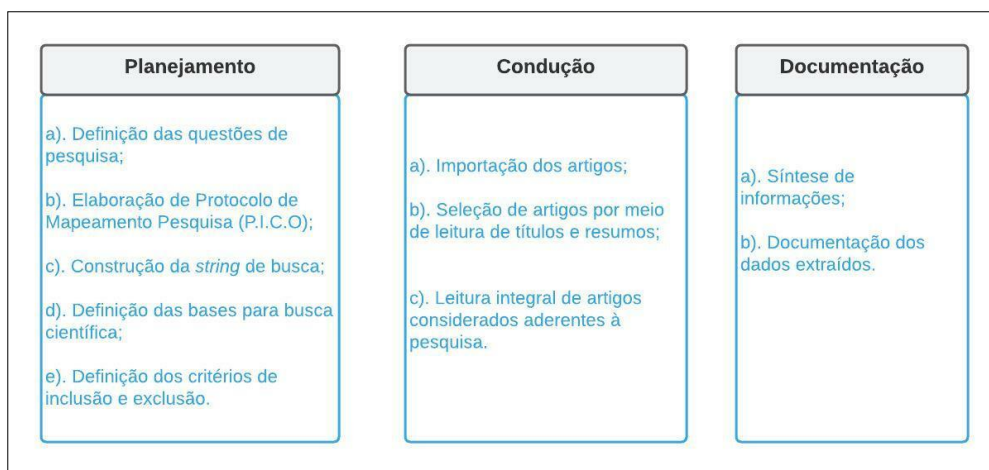


Figura 1 – Etapas da RSL: planejamento, condução e documentação.

O conjunto de caracteres (*strings*) foram definidos por meio de estudo exploratório (PERILLO; CAMPOS; ABREU-HARBICH, 2017). Assim, a *string* de busca: "*Corrosion*" AND "*Reinforced Concrete*" AND "*Electrochemical techniques*" foi aplicada às bases científicas *Science Direct*, *Scopus*, *Web of Science* e *Engineering Village*, acessadas pelo portal da CAPES/CNPq. Em relação ao período de publicações considerado para busca, foi considerado os anos de 1993 até 2022. Quanto aos critérios de seleção e exclusão dos artigos, estes estão sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Critérios de inclusão e exclusão de material científico.

| Critérios | Descrição |
|-----------|--|
| População | <ul style="list-style-type: none"> a. Artigos indisponíveis para leitura integral; b. Pesquisas que não abordem o uso de técnicas eletroquímicas para fins de monitoramento da corrosão (ex: para reparo de estruturas); c. Artigos que abordem a corrosão ocasionada por carbonatação; d. Pesquisas que explorem a corrosão do aço por meio da simulação do poro do concreto; |
| Idioma | <ul style="list-style-type: none"> a. Artigos em língua estrangeira (exceto: inglês, francês e espanhol). |

Em relação aos critérios de inclusão, definidos na etapa de planejamento, foram adotados os seguintes: artigos de pesquisa ou revisão de literatura, capítulos de livros, anais de congressos que tratassem do uso de técnicas eletroquímicas para fins de monitoramento da corrosão em estruturas de concreto armado com aplicações em campo e/ou laboratório.

Quanto à etapa de condução da pesquisa, foram importados os artigos retornados das buscas com a *string* escolhida. De modo que sua aceitabilidade para leitura integral foi condicionada a aplicação dos critérios de exclusão e inclusão (Tabela 1), mediante leitura de título, resumo e, por fim, leitura integral. Por fim, os artigos aderentes foram relacionados. Na Figura 2, é ilustrado o fluxograma de leitura, utilizado durante a varredura dos estudos.

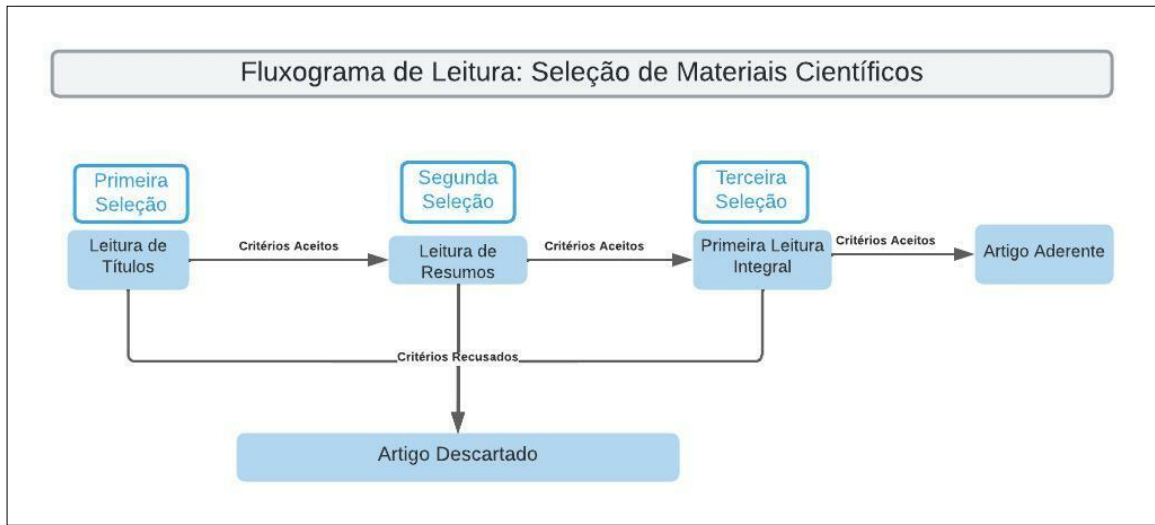


Figura 2 – Sequência de leitura dos artigos para seleção de pesquisas aderentes.

No que tange a metodologia para extração de dados cientiométricos, foi empregado o mesmo método/modelo proposto por Li *et al.* (2022), na qual as etapas de seleção são condicionadas à uma análise cientiométrica com vários filtros/limites aplicados nas diversas etapas consideradas, ilustradas na Figura 3.

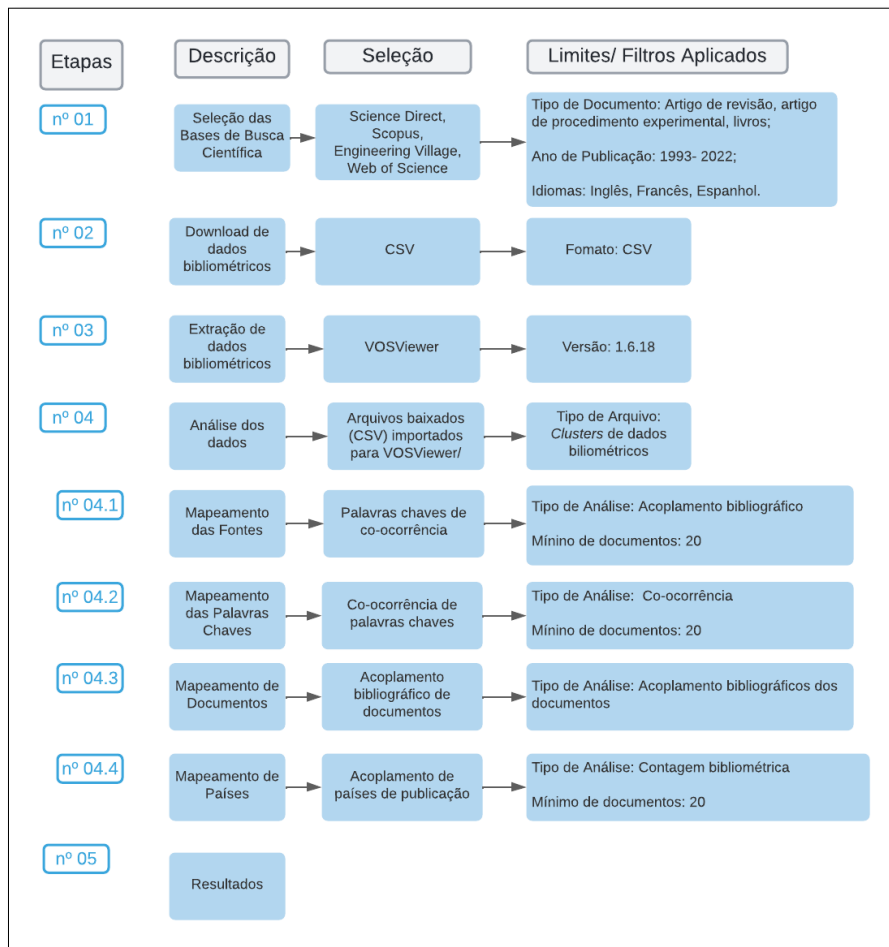


Figura 3 – Sequência de análise cientiométrica e limites aplicados em diversas etapas de condução científica.

Por fim, a análise cienciométrica foi utilizada para obtenção dos dados provenientes dos protocolos de pesquisas elaborados para RSL. Ao final das leituras dos artigos, foi aplicada a técnica *snowball* para acesso de pesquisas relacionadas ao tema que não foram detectadas pela *string* de busca.

3. APRESENTAÇÕES DE RESULTADOS

3.1 RESULTADOS BIBLIOMÉTRICOS

Foi obtido o número de 936 artigos da busca, sintetizados na Figura 4, em cada base científica pesquisada.

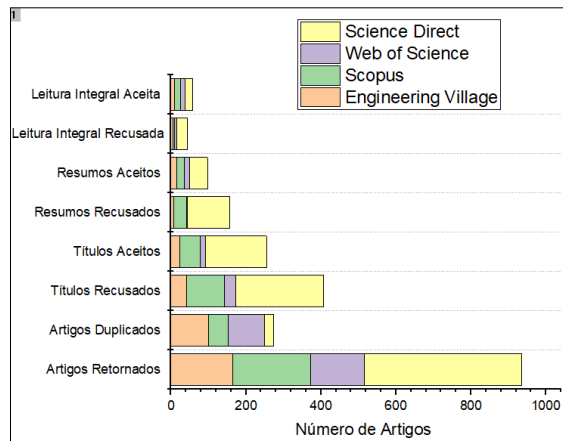


Figura 4 – Histograma com a relação de número de artigos científicos por base científica pesquisada.

Por meio do *Parsif.al* foi possível identificar os artigos duplicados em função das respectivas bases nas quais foram encontrados. Após a aplicação dos critérios de inclusão/exclusão, 44 artigos foram considerados aderentes à pesquisa. Desse modo, os critérios aplicados foram de suma relevância para obtenção dos artigos finais, entretanto a pequena percentagem de artigos aderentes (4,7%) reflete que a escolha da *string* de busca não foi específica quanto a seleção de artigos.

Na Figura 5, são ilustradas *clusters* da ocorrência das palavras-chaves, obtidas nas buscas científicas e adquiridas por meio da ferramenta *VOSviewer*.

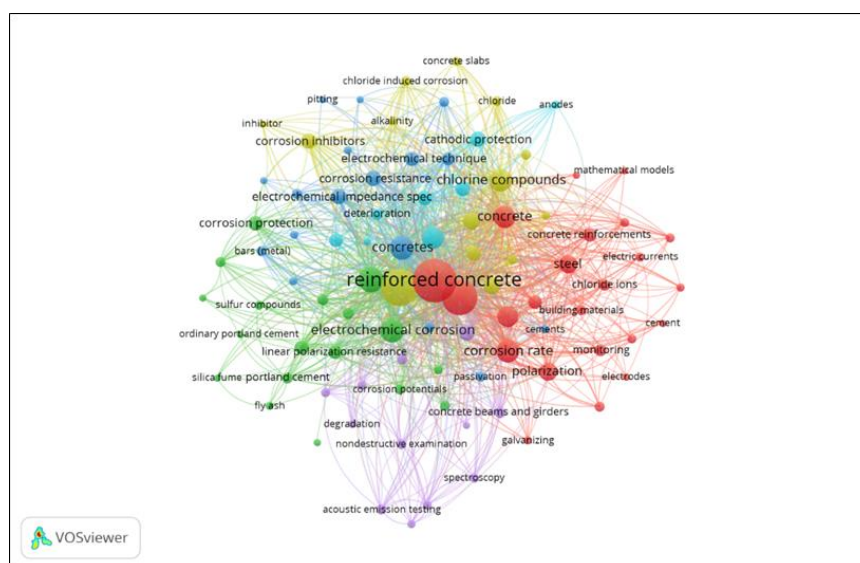


Figura 5 – Clusters de palavras-chaves.

Observa-se por meio do agrupamento a presença do termo “*electrochemical corrosion*” na *string*. Desta forma, grande parte dos artigos retornados da busca trataram de outras formas de corrosão, não correspondendo, portanto, ao objeto de pesquisa que almejou-se detectar. Assim, estes artigos foram descartados em função dos critérios de exclusão adotados.

No que se refere ao mapeamento dos países com maior número de publicações, a Figura 6 indica esses países com uso da ferramenta *VOSviewer*.

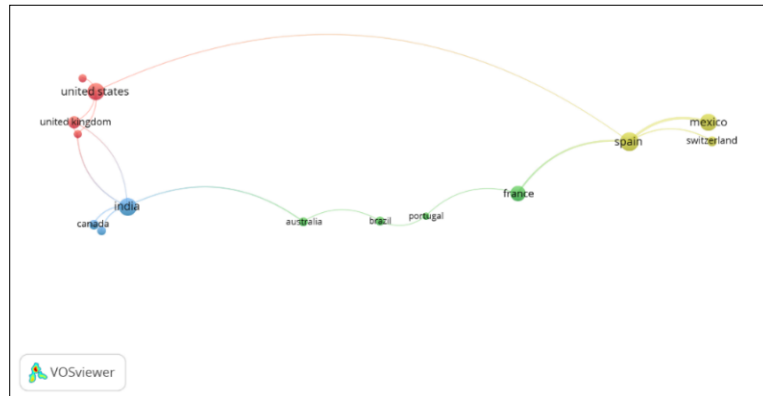


Figura 6 – Clusters de países de ocorrência.

Portanto, conforme observa-se na Figura 6, os países que tem se destacado quanto à publicação do supracitado tema de pesquisa são: Estados Unidos, França, Espanha, México e Índia.

Em suma, ao final de todas as extrações de dados da cientométrica, seguiu-se para a análise das técnicas eletroquímicas mais recorrentes e suas respectivas formas de análise quanto à morfologia da corrosão, ao seu estado, dentre outros.

3.2 RESULTADOS DE ENGENHARIA DA RSL

Após a leitura de modo integral dos artigos, constatou-se as técnicas eletroquímicas de potencial de corrosão (E_{corr}), resistência de polarização (R_p), densidade de corrente de corrosão (I_{corr}), polarização anódica potenciodinâmica (PAP) e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) (Tabela 2) são utilizadas na literatura para monitoramento da corrosão. A Tabela 2 também versa sobre os autores das respectivas pesquisas, equipamento empregado para efetuar as medições, técnicas eletroquímicas e suas perturbações (polarizações) aplicadas ao sistema armadura/concreto.

Assim, por meio de aglutinação de pesquisas aderentes (Tabela 2), foi possível detectar uma variedade de modelos e fabricantes de potenciostatos.

Com destaque, as técnicas de E_{corr} , R_p e EIS foram as mais mencionadas. O potencial de corrosão (E_{corr}) é o monitoramento mais típico para inspeção de rotina de estruturas de concreto armado (MONTEMOR; SIMÕES; SALTA, 2000, CASCUDO, 1997). Sendo esse um parâmetro de infere sobre probabilidades de ocorrência de corrosão (HENIEGAL *et al.*, 2017; GHANEI *et al.*, 2020).

Enquanto que a R_p representa a inércia que um sistema possui em desenvolver o processo eletroquímico de corrosão ante uma polarização imposta (CASCUDO, 1997). Na literatura, são aplicadas pequenas perturbações de até ± 30 mV em torno do potencial de corrosão livre, com o intuito de se garantir que, após a aplicação destes potenciais, o potencial do eletrodo em análise (armadura de aço) consiga reestabelecer o seu valor inicial de E_{corr} . Desse modo, as técnicas eletroquímicas podem avaliar os aspectos termodinâmicos e cinéticos da corrosão do aço no concreto por meio de potencial de corrosão (E_{corr}) e resistência de polarização (R_p), este último permite estimar a densidade de corrente de corrosão (I_{corr}) (OLIVEIRA; CASCUDO, 2018).

A EIS representa o nível de dificuldade pelo qual um sinal elétrico (potencial ou corrente) enviado a esse circuito, encontra ao percorrê-lo (CASCUDO, 1997). Geralmente, nesta técnica, é aplicada uma perturbação em forma de sinal alternado de pequena amplitude, em torno de 5 a 20 mV em torno do eletrodo de trabalho (armadura de aço), inserido em um eletrólito (concreto) (CASCUDO, 1997; RIBEIRO; ABRANTES, 2016). Sendo aplicado em uma larga faixa de

frequência na ordem de 10 mHz até 100 kHz (JIN *et al.*, 2018). A tabela 2 menciona frequências da ordem de 100 kHz a 0,1 mHz, sendo a mais recorrente de 100 kHz a 10 mHz. Esta técnica permite a identificação da morfologia do ataque, além de definição completa do processo de corrosão, por meio dos parâmetros de corrosão na interface armadura/concreto (CASCUDO, 1997; XIONG, 2021).

Tabela 2 – Técnicas de monitoramento da corrosão eletroquímica de maior recorrência na RSL.

| Referências | Equipamento empregado | Técnicas eletroquímicas | Polarizações/ Frequências |
|---------------------------------------|---|------------------------------|------------------------------|
| Bautista <i>et al.</i> (1993) | Potenciostato 1286 | R_p | ± 10 mV |
| | Potenciostato PAR 273 A | EIS | 100 kHz - 1 mHz |
| | Microamperímetro AutoZRA (ACM Instruments) | Ruído eletroquímico | - |
| Baweja <i>et al.</i> (1993) | Potenciostato Princeton Applied Research Model 173/175 | EIS | 100 kHz - 5 mHz |
| | | PAP - E_{corr} | ± 50 mV |
| | | PAP - I_{corr} | |
| Cigna, Proverbio e Rocchini (1993) | N.I* | E_{corr} | - |
| | | R_p | ± 20 mV |
| Montemor, Simões e Salta (2000) | Analisador de resposta de frequência SOLARTRON 1255 e SOLARTRON 1286 para interface eletroquímica | E_{corr} | - |
| | | EIS | 100 kHz - 5 mHz |
| Pech-Canul e Castro (2002) | N.I* | E_{corr} | - |
| | | R_p | ± 10 mV |
| | | EIS | 0,1 mHz - 1 kHz |
| Turkmen <i>et al.</i> (2003) | N.I* | RPL | ± 20 mV |
| Law <i>et al.</i> (2004) | N.I* | R_p - Perda de Massa | ± 10 mV |
| | | R_p - I_{corr} | |
| Saraswathy e Song (2006) | Voltímetro | E_{corr} | - |
| | N.I* | R_p | 10-30 mV |
| | | I_{corr} | NI* |
| Ismail e Ohtsu (2006) | Potenciostato/ Galvanostato Autolab (GPES) | R_p | NI* |
| | | EIS | 100 kHz - 10 mHz |
| Maldonado <i>et al.</i> (2008) | Potenciostato/ Galvanoestato ZRA ACM Gill 8 AC | E_{corr} | - |
| | | R_p | ± 20 mV |
| | | Ruído Eletroquímico | - |
| Vedalakshmi <i>et al.</i> (2010) | Analisador eletroquímico Modelo 6310: E G & G Instruments | E_{corr} | - |
| | | EIS | 100 kHz - 10 mHz |
| Angst <i>et al.</i> (2011) | Potenciostato PARSTAT 2273 | R_p | ± 10 mV |
| | | EIS | 1 kHz |
| Poursae (2011) | Potenciostato PARSTAT 2263 | E_{corr} | - |
| | GalvaPulse | R_p | ± 25 mV |
| Vedalakshmi e Thangavel (2011) | Galvapulse GP 5000 | E_{corr} | - |
| | | R_p | ± 20 mV |
| | | Curvas de Tafel | ± 200 mV |
| | | EIS | 100 kHz - 10 mHz |
| Lopéz <i>et al.</i> (2012) | Potenciostatos PAR 273 | EIS | 100 kHz - 1 mHz |
| Quiao e Liu (2012) | N.I* | Polarização potenciodinâmica | NI* |

| | | | |
|---------------------------------------|---|------------------------------|---------------------|
| Romano <i>et al.</i> (2013) | Sensor MonIcorr Pat.Pend | R_p | ± 10 mV |
| Alghamdi e Ahmad (2014) | Potenciostato PARSTAT 2273 | R_p | ± 20 mV |
| Castilho, Aperador e Rodríguez (2015) | Potenciostato Gamrymn PCI4 e Arduíno | E_{corr} | - |
| | | R_p | NI* |
| Aperador, Duque e Delgado (2016) | Potenciostato/ Galvanostato sem modelo citado | E_{corr} | - |
| | | EIS | 100 kHz – 0,1 mHz - |
| | | E_{corr} | - |
| Hurtado <i>et al.</i> (2016) | N.I.* | R_p | ± 20 mV |
| Chou <i>et al.</i> (2017) | NI* | R_p | NI* |
| Heniegal <i>et al.</i> (2017) | Potenciostato/galvanostato SP-150 | R_p | NI* |
| | | E_{corr} | - |
| Shi <i>et al.</i> (2017) | Potenciostato PARSTAT 2273 | R_p | ± 10 mV |
| | | EIS | 1 MHz - 10 mHz |
| | | E_{corr} | - |
| Jin <i>et al.</i> (2018) | Potenciostato PGSTAT 2773 | R_p | ± 15 mV |
| | | EIS | 100 KHz – 0,1 mHz |
| | | E_{corr} | - |
| Oliveira e Cascudo (2018) | Potenciostato Voltalab 40 PGZ | R_p | ± 10 mV |
| | | EIS | 100 kHz - 10 mHz |
| | | E_{corr} | - |
| Resende <i>et al.</i> (2018) | Potenciostato PGSTAT 100 | EIS | 100 kHz - 10 mHz |
| | | Polarização potenciodinâmica | -0,9 V até + 2,0 V |
| | | E_{corr} | - |
| Ghanei <i>et al.</i> (2020) | Potenciostato Automático Gill Ac | R_p | NI* |
| | | EIS | 30 kHz - 0,1 Hz |
| | | EIS | 0.1 MHz - 11 mHz |
| Liu e Zhao (2020) | Potenciostato CorrTest Instruments | Polarização potenciodinâmica | ± 10 mV |
| | | I_{corr} (Curvas Tafel) | ± 140 mV |
| Ramon <i>et al.</i> (2020) | Potenciostato Autolab PGSTAT 100 | I_{corr} (Curvas Tafel) | ± 140 mV |
| | N.I.* | I_{corr} (Curvas Tafel) | ± 140 mV |
| Xiong (2021) | N.I.* | EIS | 0,01 Hz - 0,1 mHz |

N.I.* não identificado pelo autor (es).

Por fim, o emprego de mais de uma técnica é importante para diagnosticar a condição da armadura e avaliá-la quanto a capacidade de proteção do concreto (OLIVEIRA; CASCUDO; CASTRO, 2020). Desse modo, após a leitura do material científico, compilou-se na Tabela 3 os principais resultados e análises que podem ser detectados pelas técnicas mais mencionadas pela literatura.

Tabela 3 – Síntese de parâmetros que são avaliados pelas técnicas.

| Descrição do método | Aspecto | Principal avaliação | Morfologia do ataque | Aplicabilidade |
|---------------------|---------------|--|--|---|
| E_{corr} | Termodinâmico | Indica a probabilidade ocorrência ou não da corrosão. Detecta mudança do estado ativo para passivo da armadura de aço. | Não é possível | Possui uso em laboratório e em <i>in situ</i> |
| R_p e I_{corr} | Cinético | Identifica a velocidade de corrosão da armadura. | Não é possível | Possui uso em laboratório e em <i>in situ</i> |
| EIS | Cinético | Detecta parâmetros quanto a natureza do agente agressivo a armadura. | Indica se a corrosão se dá de forma generalizada ou localizada (pites) | Uso em laboratório. |

Ressalta-se que no que diz respeito às análises efetuadas inseridas na Tabela 3, são referentes somente aos dados/métodos que foram empregados nos artigos considerados aderentes à pesquisa. As outras técnicas abordadas em estudos eletroquímicos de corrosão (ruído, curvas de Tafel *etc*) não foram contempladas na respectiva tabela, devido sua menor ocorrência de uso nos artigos aderentes.

5. CONCLUSÕES

Pode-se observar, com base na pesquisa bibliográfica realizada que:

- ✓ as técnicas eletroquímicas de potencial de corrosão (E_{corr}), resistência de polarização (R_p), densidade de corrente de corrosão (I_{corr}) e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) foram as técnicas mais amplamente utilizadas e citadas pela literatura no âmbito nacional e internacional entre os anos de 1993 e 2021.
- ✓ foi possível detectar uma variedade de modelos e fabricantes de potenciostatos;
- ✓ perturbações de potencial da ordem de ± 10 mV a ± 30 mV ao eletrodo de trabalho foram registradas pela literatura para se obter valores de R_p e, como consequência, I_{corr} ;
- ✓ para EIS, foram registradas perturbações de 5 a 20 mV em torno do eletrodo de trabalho (armadura de aço e uma leitura de frequência na ordem de 100 kHz a 0,1 mHz, sendo a mais recorrente de 100 kHz a 10 mHz e
- ✓ a combinação de diferentes técnicas eletroquímicas permite investigar aspectos cinéticos e termodinâmicos da corrosão e morfologia de ataque (mais generalizado ou mais pontual) que podem contribuir para uma tomada de decisões madura quanto ao tempo para execução de manutenções e reparos em estruturas de concreto armado.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho faz parte do projeto de P&D - PD. 0394-1704-2017, regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, desenvolvido pela Eletrobrás FURNAS e FUNAPE/UFGE/EECA/LABITECC. Os autores expressam agradecimento a todos esses parceiros, bem como ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelas bolsas concedidas aos pesquisadores autores deste artigo.

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT: 238 p. 2014.

- APERADOR, W.; DUQUE, J.; DELGADO, E. Determination of Corrosion of Steel Embedded in Alkali Activation of a Binary Mixture. **International Journal of Electrochemical Science**. v.11, p. 3567-3576, 2016.
- BAUTISTA, A.; VERGARA, A.; DÁVILA, J. V.; MARIACA, L.; GONZÁLEZ, J. A. Comparación del ruido electroquímico con las técnicas de impedancia y resistencia de polarización en el sistema acero/hormigón. **Revista de Metalurgia**. v. 33, p. 113-119, 1993.
- BAWEJA, D.; ROPER, H.; SIRIVIVATNANON, V. Relationships between anodic polarisation and corrosion of steel in concrete. **Cement and Concrete Research**. v. 23, n.6m p. 1418-1430, 1993.
- CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1997. 237 p.
- CASTILHO, F. B.; APERADOR, W.; RODRIGUEZ, G. Remote measurement of linear polarization resistance in concrete structures. **MRS Advances**. v.1815, p. 71-77, 2015.
- CHOU, J.; NGO, N.; CHONG, W. K. The use of artificial intelligence combiners for modeling steel pitting risk and corrosion rate. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**. v.65, p. 471-483, 2017.
- CIGNA, R.; PROVERBIO, E.; ROCCHINI, G. A study of reinforcement behaviour in concrete structures using electrochemical techniques. **Corrosion Science**. v. 35, p. 1579-1584, 1993.
- DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. J. **Design Science Research: Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015. 173p.
- GHANEI, A., ESKANDARI-NADDAF, H., OZBAKKALOGLU, T., DAVOODI, A., Electrochemical and statistics analyses of the combined effect of air-entraining admixture and micro-silica on corrosion of reinforced concrete. **Construction and Building Materials**. v. 262, 2020. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120768.
- GRANT, M. J.; BOOTH, A. “A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies”, *Health Information and Libraries Journal*, v 26, pp. 91–108, May 2009.
- HENIEGAL, A. M.; AMIN, M.; YOUSSEF, H. Effect of silica fume and steel slag coarse aggregate on the corrosion resistance of steel bars. **Construction and Building Materials**. v.155, p. 846-851, 2017.
- HURTADO, S. G.; BALTAZAR-ZAMORA, M. A.; OLGUIN-COCA, J.; LOPÉZ, L.; GALVÁN-MARTÍNEZ, R.; RÍOS-JUÁREZ, A.; GAONA-TIBURCIO, C.; ALMERAYA-CALDERÓN, F. Electrochemical evaluation of a stainless steel as reinforcement in sustainable concrete exposed to chlorides. **International Journal of Electrochemical Science**. v. 11, n. 4. p. 2994-3006, 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. Procedimento de ensaio de potencial de corrosão em corpos de prova de concreto armado. **Práticas Recomendadas: IBRACON**, 35 páginas, 2021. ISBN / ISSN: 978-65-89675-08-2
- VAZ, F. H. B.; CARASEK, H. Resistência de aderência de revestimentos de argamassa - contribuição por meio de mapeamento e revisão sistemática de literatura para futuras pesquisas no tema. **Cerâmica**. v. 65, p. 303-318, 2019.
- LI, X.; QIN, D.; HU, Y.; AHMAD, W.; AHMAD, A.; ASLAM, F.; JOYKLAD, P. A systematic review of waste materials in cement-based composites for construction applications. **Journal of Building Engineering**. v 45, p.103447, 2022.
- AHMED, H.U.; FARAJ, R.H.; HILAL, N.; MOHAMMED, A.A.; SHERWANI, A.F.H. Use of recycled fibers in concrete composites: A systematic comprehensive review. **Composites Part B: Engineering**. v.215, n. 15, p. 108769, 2021.

- ISMAIL, M.; OHTSU, M. Corrosion rate of ordinary and high-performance concrete subjected to chloride attack by AC impedance spectroscopy. **Construction and Building Materials**. v. 20, n. 7, p. 458-469, 2006.
- JIN, M.; GAO, S.; JIANG, L.; WU, Y.; SONG, R.; WU, Y.; HE, J. Continuous Monitoring of Steel Corrosion Condition in Concrete Under Drying/Wetting Exposure to Chloride Solution by Embedded MnO₂ Sensor. **International Journal of Electrochemical Science**. v.12. p. 11353- 11372. 2018.
- LAW, D. W.; CAIRNS, J.; MILLARD, S. G.; BUNGEY, J. H. Measurement of loss of steel from reinforcing bars in concrete using linear polarisation resistance measurements. **NDT & E International**. v. 37, n. 5, p. 381-388, 2004.
- LI, X.; QUIN, D.; AHMAD, W.; AHMAD, A.; ASLAM, F.; JOYKLAD P. A systematic review of waste materials in cement-based composites for construction applications. **Journal of Building Engineering**. v.45. 2022.
- LIU, S.; ZHAO, W. Effect of marble dust and silica fume admixtures replaced in ordinary Portland cement on corrosion behavior of carbon steel in the concrete after exposure to 5 wt% NaCl solution. **International Journal of Electrochemical Science**. v.15, p. 3825-3835, 2020.
- LOPÉZ, T. P.; CANTO, G.; MOO-YAM, V. M.; REYES, J.; PÉREZ-QUIROZ, J. T.; GENESCÁ, J. Analysis of the Infiltration of Chloride Ions into Concrete Samples and Its Role in the Corrosion Onset of Embedded Steel Rebars. **International Journal of Electrochemical Science**. v.7, p. 426-436, 2012.
- MALDONADO, E.; CALDERON, F. A.; BASTIDAS, D. M.; GAONA, C.; BASTIDAS, J. M.; VILLAFANE, M. Behavior of Corrosion of Steel Embedded in Ternary Concretes. **ECS Transactions**. v.15, n.1, 2008.
- MONTEMOR, M. F.; SIMÕES, A. M. P.; SALTA, M. M. Effect of fly ash on concrete reinforcement corrosion studied by EIS. **Cement and Concrete Composites**. v.22, n.3, p. 175-185, 2000.
- OLIVEIRA, A. M.; CASCUDO, O. Effect of mineral additions incorporated in concrete on thermodynamic and kinetic parameters of chloride-induced reinforcement corrosion. **Construction and Building Materials**. v. 192, p. 467-477, 2018.
- OLIVEIRA, A. M.; CASCUDO, O.; CASTRO, A. Effect of the Type of Concrete with Mineral Additions on the Reinforcement Corrosion Induced by Chlorides - Analysis in the Same Mechanical Strength Class. **XV International Conference on Durability of Building Materials and Components: DBMC 2020**, Barcelona, 2020.
- PECH-CANUL, M. A.; CASTRO, P. Corrosion measurements of steel reinforcement in concrete exposed to a tropical marine atmosphere. **Cement and Concrete Research**. v.32, n. 3, p. 491-498, 2002.
- PERILLO, P. J. L.; CAMPOS, M. A. S.; ABREU-HARBICH, L. V.. Conforto térmico em salas de aula: revisão sistemática da literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 4, p. 236-248, dez. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650268>>. Acesso em: 02 abr. 2022.
- POURSAEE, A. **Corrosion measurement techniques in steel reinforced concrete**. Journal of ASTM international. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1520/JAI103283>. Acesso em: 28 ago. 2021.
- QUIAO, G.; LIU, T. Characterization of the reinforcing steel corrosion by potentialdynamic scan approach. **Journal of Wuhan University of Technology**. v. 27. p. 418-421. 2012.
- RAMÓN, J. E.; GANDÍA-ROMERO, J. M.; BATALLER, R.; ALCÁNIZ, M.; VALCUENDE, M.; SOTO, J. Potential step voltammetry: An approach to corrosion rate measurement of reinforcements in concrete. **Cement and Concrete Composites**. v. 110, 2020. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103590.
- RESENDE, C.; SILVA, V. H. M; MARTELLI, P. B.; BUENO, A. H. S. Efeito do nitrito de sódio como inibidor de corrosão em concreto armado com presença de CO₂ e cloretos. **Revista Virtual de Química**, v.10, n.5, p. 1546-1561, 2018.

RIBEIRO, D. V.; ABRANTES, J. C. C. Application of electrochemical impedance spectroscopy (EIS) to monitor the corrosion of reinforced concrete: A new approach. **Construction and Building Materials**. v.111, p. 98-104, 2016.

ROMANO, P.; BRITO, P. S. D.; RODRIGUES, L. Monitoring of the degradation of concrete structures in environments containing chloride ions. **Construction and Building Materials**. v.47. p. 827-832, 2013.

SARASWATHY, V.; SONG, H. Electrochemical studies on the corrosion performance of steel embedded in activated fly ash blended concrete. **Electrochimica Acta**. v.51, n. 22, p. 4601-4611. 2006.

SHI, J.; MING, J; SUN, W.; ZHANG, Y. Corrosion performance of reinforcing steel in concrete under simultaneous flexural load and chlorides attack. **Construction and Building Materials**. v.149, p. 315-326, 2017.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. "Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review", **British Journal of management**, v 14, pp. 207-222, Sep. 2003

TURKMEN, I.; GAVGALI, M.; GUL, R. Influence of mineral admixtures on the mechanical properties and corrosion of steel embedded in high strength concrete. **Materials Letters**. v. 57, p. 2037-2043, 2003.

VEDALAKSHMI, R.; BALAMURUGAN, L.; SARASWATHY, V.; KIM, S. H.; ANN, K. Y. Reliability of Galvanostatic Pulse Technique in assessing the corrosion rate of rebar in concrete structures: Laboratory vs field studies. **KSCE Journal of Civil Engineering**. v.14, p. 867-877, 2010.

VEDALAKSHMI, R.; THANGAVEL, K. Reliability of Electrochemical Techniques to Predict the Corrosion Rate of Steel in Concrete Structures. **Arabian Journal for Science and Engineering**. v.36, n. 5, p. 769-783, 2011.

XIONG, Y. Q. **Investigation of Chloride Diffusion Behavior of Concrete Manufactured with Blended Mineral Admixtures Using Electrochemical Technique**. v.16, p. 1-11, 2021.

ÁREA TEMÁTICA: DESEMPENHO E DURABILIDADE

AVALIAÇÃO DO TIPO DE CURA NA CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTIVIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL APARENTE E A RESISTIVIDADE VOLUMÉTRICA DO CONCRETO EM SUAS PRIMEIRAS IDADES

**LEONEL, Antônio Carlos Assis¹; ALMEIDA, Bruna Ferreira²;
OLIVEIRA, Andrielli Moraes³; CASCUDO Oswaldo⁴**

¹ Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, Brasil, antonioleonel@ufg.br, ORCID 0000-0001-9427-1546

² Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, Brasil, ferreiraalmeida@discente.ufg.br, ORCID 0000-0003-4405-1697

³ Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, Brasil, andriellimoraes@ufg.br, ORCID 0000-0001-8977-785X

⁴ Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, Brasil, ocascudo@ufg.br, ORCID 0000-0003-1879-6396

RESUMO

Na execução de estruturas de concreto o controle de qualidade dos materiais, a dosagem correta e a cura adequada são requisitos imprescindíveis para se obter os parâmetros físicos e mecânicos requeridos desde as primeiras idades. A resistividade elétrica é uma propriedade interessante, medida de forma não destrutiva (ND) e pode ser um indicador da durabilidade de concretos. Assim, este trabalho tem como objetivo correlacionar dados de resistividade elétrica superficial aparente (Re) e resistividade volumétrica (Rv) durante as primeiras idades (1 a 15 dias) de concretos sob condições de cura úmida (em câmara climática) e cura ao ar (em ambiente de laboratório). Para tanto, concreto com classe de resistência de 45 MPa foi moldado e caracterizado quanto a resistência à compressão e módulo de elasticidade nas idades de 1,3,7 e 14 dias. Em paralelo, as medidas de Re e Rv foram realizadas diariamente entre 1 e 15 dias em concretos. Como resultado, pôde-se observar que a condição de cura do concreto, como esperado, é um fator que interfere na sua porosidade e na hidratação, bem como nos valores de resistividade. Com o aumento da idade, houve acréscimo dos valores de Re e Rv nas duas condições de cura. Além disso, obteve-se na idade de 15 dias Re de 5,4 kΩ.cm e Rv de 5,8 kΩ.cm para cura úmida e de Re de 11,8 kΩ.cm e Rv de 21,8 kΩ.cm para cura ao ar. Obteve-se também a correlação R² entre Re e Rv de 0,88 para cura úmida e 0,84 para cura seca. Ainda, na situação de cura úmida, obteve-se R² entre a resistência a compressão e a Re de 0,90 e a resistência a compressão e Rv de 0,83 para o presente estudo.

Palavras-chave: concreto; resistividade elétrica; resistividade volumétrica; cura; ensaios não destrutivos.

ABSTRACT

In the execution of concrete structures, the quality control of the materials, the correct dosage and the adequate curing are essential requirements to obtain the physical and mechanical parameters required from an early age. Electrical resistivity is an interesting property, measured in a non-destructive way (ND) and it can be a durability indicator of concrete. Thus, this work aims to correlate apparent surface electrical resistivity (Re) and volumetric resistivity (Rv) data during the early ages (1 to 15 days) of concrete under wet curing and air curing conditions in a laboratory environment. Therefore, concrete with a strength class of 45 MPa was molded and characterized in terms of compressive strength and modulus of elasticity at ages 1, 3, 7 and 14 days. In parallel, measurements of Re and Rv were performed daily between 1 and 15 days in concretes subjected to air and wet cure. As a result, it was observed that the curing condition of the concrete, as expected, is a factor that interferes in its porosity and hydration, as well as in the resistivity values. With increasing age, there was an increase in Re and Rv values in both curing conditions. Furthermore, at the age of 15 days, Re of 5.4 kΩ.cm and Rv of 5.8 kΩ.cm were obtained for wet curing; and Re of 11.8 kΩ.cm and Rv of 21.8 kΩ.cm for air cure. The R² correlation between Re and Rv of 0.88 for wet curing and 0.84 for dry curing was also obtained. Still, in the wet curing situation, R² was obtained between compressive strength and Re of 0.90 and compressive strength and Rv of 0.83 for the present study.

Keywords: concrete; electrical resistivity; volumetric resistivity; cure; non-destructive testing.

1. INTRODUÇÃO

A durabilidade pensada sob a perspectiva do desempenho leva em conta aspectos técnico-econômicos de cada empreendimento, ambiente no qual ele está inserido, análise de riscos, aporte, solicitações físico-químicas, solicitações mecânicas e vida útil requerida. Indicadores de durabilidade, como a resistividade elétrica superficial aparente e a resistividade volumétrica, podem direcionar a uma modelagem de vida útil, validação na especificação em projeto e na otimização em moldagem de concretos duráveis [1-6]. Além disso, indicadores de durabilidade vêm sendo incorporados às normas e recomendações internacionais [1, 2].

Ao mesmo tempo, esses indicadores de durabilidade, utilizados conjuntamente com outros marcadores, como resistência a compressão e módulo de elasticidade, podem agregar em possibilidade de otimização na composição de concretos, segregação e bombeabilidade de concreto, escolha e redução de períodos de cura, retirada antecipada de fôrmas e escoramento, dentre outros [6].

Além disso, a resistividade elétrica superficial aparente apresenta a vantagem de ser uma técnica não destrutiva, de fácil uso e interpretação e de resultado imediato, comparável a resultados de outros ensaios. Adicionalmente, a resistividade pode ser influenciada por vários parâmetros do concreto, como composição, tipo de cura, presença de agentes agressivos, carbonatação, grau de hidratação e idade, grau de saturação, presença de adições minerais, presença de armadura, efeito escala, geometria da peça de concreto, espaçamento de sonda do equipamento, entre outros [7-16].

Assim, em termos de avaliação, valores de resistividade elétrica podem variar em classes de 1 k Ω .cm. até acima de 100 k Ω .cm, de forma que valores elevados de resistividade (acima de 20 k Ω .cm) podem ser associados a concretos pouco porosos ou secos e com pouca probabilidade de corrosão de armadura do concreto [17-18].

Este artigo tem como objetivo correlacionar dados de resistividade elétrica superficial aparente (R_e) e resistividade volumétrica (R_v) durante as primeiras idades (1 a 15 dias) de concreto de 45 MPa sob condições de cura úmida e cura ao ar em ambiente de laboratório. A resistência à compressão e o módulo de elasticidade nas idades de 1,3,7 e 14 dias também foram avaliados. A contribuição desse artigo está em apresentar correlações entre R_e e R_v nas duas condições de cura estudadas e R_e e R_v com a resistência à compressão.

2. METODOLOGIA

O proporcionamento dos materiais utilizados no concreto (Tabela 1) foi baseado em concretos sem adições minerais, utilizados em barragens de usinas hidrelétricas, com resistência característica à compressão de 45 MPa aos 28 dias de idade e abatimento na classe S-160 (concreto bombeável) [19].

Tabela 1 – Proporcionamento dos materiais constituintes do concreto utilizado na pesquisa.

| Item | Traço unitário (Kg) | Consumo por m ³ (Kg/m ³) |
|--|---------------------------------------|---|
| Cimento Portland CP II-F 40 | 1,00 | 350 |
| Areia média natural | 2,04 | 714 |
| Brita 1 de origem granítica | 3,09 | 1082 |
| Aditivo Superplastificante à base de policarboxilato | 0,0015 (0,15% da massa de cimento) | 0,525 |
| Relação água/cimento (a/c) | 0,50 | 175 |

Para a realização de todos os ensaios, procedeu-se a moldagem de corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10x20 cm e 15x30 cm, além de 2 prismas com dimensões de 20x30x55 cm. A moldagem foi realizada de acordo com as recomendações da NBR 5738 [19].

Os corpos de prova cilíndricos foram utilizados para determinação da resistência à compressão [20] (Figura 1a) e módulo de elasticidade [21] nas idades de 1, 3, 7 e 14 dias (Figura 1b). As medidas de resistividade elétrica volumétrica do concreto [22] (Figura 2a) e resistividade elétrica superficial aparente [23] (Figura 2b) foram realizadas diariamente de 1 a 15 dias de idade.

Antes dos ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade, realizou-se a retífica de topo e base dos corpos prova e, durante o ensaio, foram utilizados discos de neoprene confinados em pratos metálicos para uma distribuição uniforme das tensões. Os ensaios foram realizados em prensa hidráulica classe I com capacidade máxima de 2000 kN, sob uma velocidade de carregamento de 0,45 MPa/s.

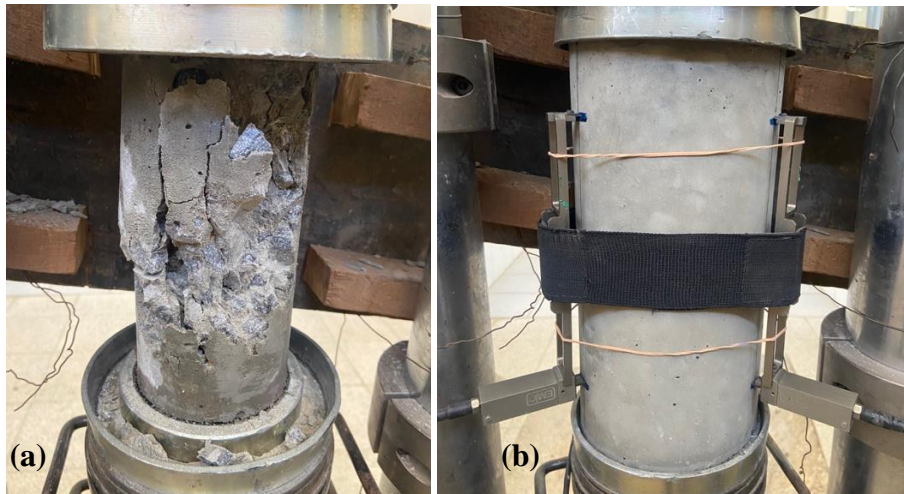


Figura 1 – Ensaio de propriedades mecânicas: (a) resistência à compressão e (b) módulo de elasticidade do concreto.

Com exceção da resistência à compressão e do módulo de elasticidade, para os demais ensaios foram analisadas a influência da cura úmida (em câmara climatizada com temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar acima de 95% [19]) e da cura seca ao ar em ambiente de laboratório (com temperatura de aproximadamente $28 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar acima de 50%). A Tabela 2 resume as idades de ensaio, dimensões de corpos de prova e curas realizadas no estudo.

Tabela 2 – Programa experimental.

| Ensaio | Idades de ensaio | Corpos de prova (CP) |
|---|-----------------------|---|
| Resistência à compressão axial [20] | 1, 3, 7 e 14 dias | 3 CP's 10x20 cm por idade |
| Módulo de elasticidade [21] | 1, 3, 7 e 14 dias | 3 CP's 15x30 cm por idade |
| Resistividade elétrica superficial [23] | Idades de 1 a 14 dias | 5 leituras no CP Prismático – Cura úmida 5 leituras no CP Prismático – Cura seca ao ar |
| Resistividade elétrica volumétrica [22] | Idades de 1 a 14 dias | 3 CP's 10x20 cm – Cura úmida 3 CP's 10x20 cm – Cura seca ao ar |

Para a realização dos ensaios de resistividade elétrica superficial aparente e volumétrica utilizou-se do equipamento PROCEQ Resipod. O método superficial foi realizado por meio da sonda com espaçamento entre eletrodos de 38 mm e leituras realizadas em corpos de prova prismáticos (Figura 2a) nas curas ao ar e úmida.

Já o método volumétrico foi realizado com leituras em corpos de prova cilíndricos 10x20 cm, submetidos a cura úmida e cura seca ao ar (Figura 2b). Os dados obtidos nas leituras de resistividade foram registrados no equipamento e salvos posteriormente em um computador por meio do *software ResipodLink* que permite a visualização, manipulação e exportação dos dados obtidos.

Para a situação dos corpos de prova cilíndricos e prismático submetidos a cura ao ar, em tentativa de realização dos ensaios de resistividade, procurou-se umedecer com um pano úmido a superfície a ser ensaiada cerca 20 minutos antes de sua realização.



Figura 2 - Ensaio de resistividade elétrica superficial aparente no prisma (a) e volumétrica nos corpos de prova cilíndricos (b).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resistência à compressão e módulo de elasticidade

Os resultados obtidos da evolução de resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto analisado são apresentados na Figura 3.

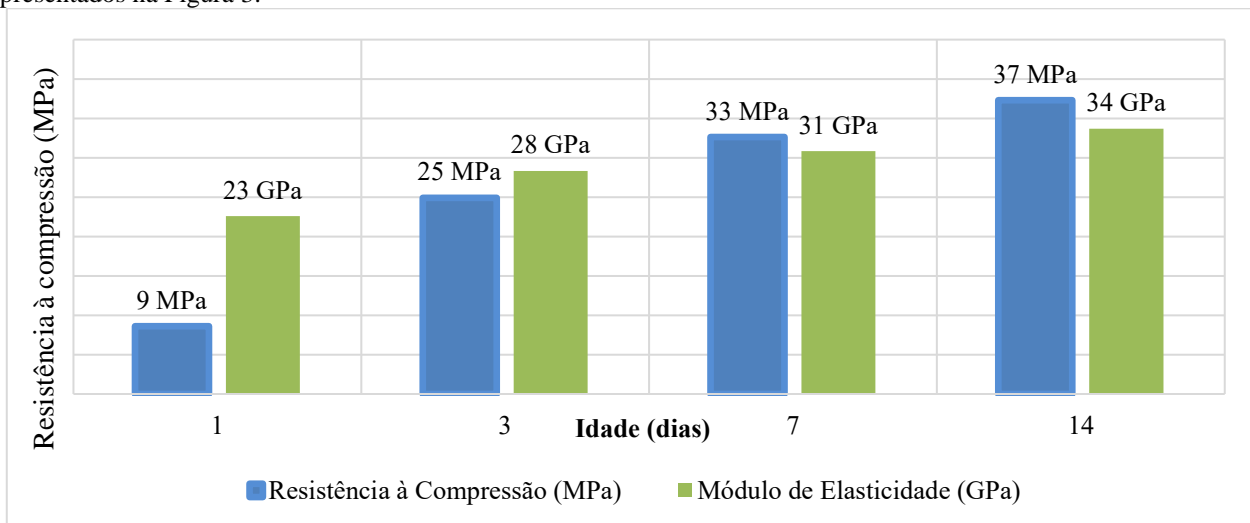


Figura 3 – Evolução dos resultados de resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto.

Como esperado, houve acréscimo da resistência à compressão e do módulo de elasticidade com o avanço da idade. Em especial, verificou-se que houve um ganho de resistência de 55% da resistência à compressão aos 3 dias e de 73% nos primeiros 7 dias. Outra observação são os valores de módulo de elasticidade elevados ainda em idades precoces. A explicação para esse fenômeno pode ser a finura do cimento e a sua classe de resistência à compressão de 40 MPa, superior aos convencionais de 25 e 32 MPa. Com 14 dias obteve-se aproximadamente 83% da resistência à compressão esperada.

3.2 Resistividade

Na Tabela 3 e Figura 4 são apresentados os resultados dos ensaios de resistividade elétrica superficial e volumétrica realizados na condição de cura úmida e seca ao ar nas primeiras idades (15 dias) do concreto em análise.

Tabela 3 – Proporcionamento dos materiais constituintes do concreto utilizado na pesquisa.

| Idade do concreto | Resistividade superficial - cura úmida (kΩcm) | Resistividade volumétrica - cura úmida (kΩcm) | Resistividade superficial - cura ao ar (kΩcm) | Resistividade volumétrica - cura ao ar (kΩcm) |
|-------------------|---|---|---|---|
| 1° dia | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 4,8 |
| 2° dia | 3,1 | 2,7 | 4,2 | 7,4 |
| 3° dia | 3,3 | 3,3 | 5,7 | 10,3 |
| 4° dia | 4,2 | 3,7 | 6,1 | 12,9 |
| 5° dia | 4,10 | 4,2 | 10,6 | 15,0 |
| 6° dia | 4,6 | 4,4 | 7,4 | 14,3 |
| 7° dia | 4,5 | 4,6 | 7,2 | 14,6 |
| 8° dia | 4,9 | 4,7 | 8,2 | 15,1 |
| 9° dia | 4,9 | 5,0 | 8,5 | 16,3 |
| 10° dia | 4,7 | 5,4 | 9,6 | 18,4 |
| 11° dia | 4,8 | 5,6 | 11,4 | 19,2 |
| 12° dia | 5,8 | 5,8 | 11,3 | 23,0 |
| 13° dia | 5,0 | 5,8 | 9,9 | 21,3 |
| 14° dia | 5,4 | 5,9 | 14,9 | 21,9 |
| 15° dia | 5,4 | 5,8 | 11,8 | 21,8 |

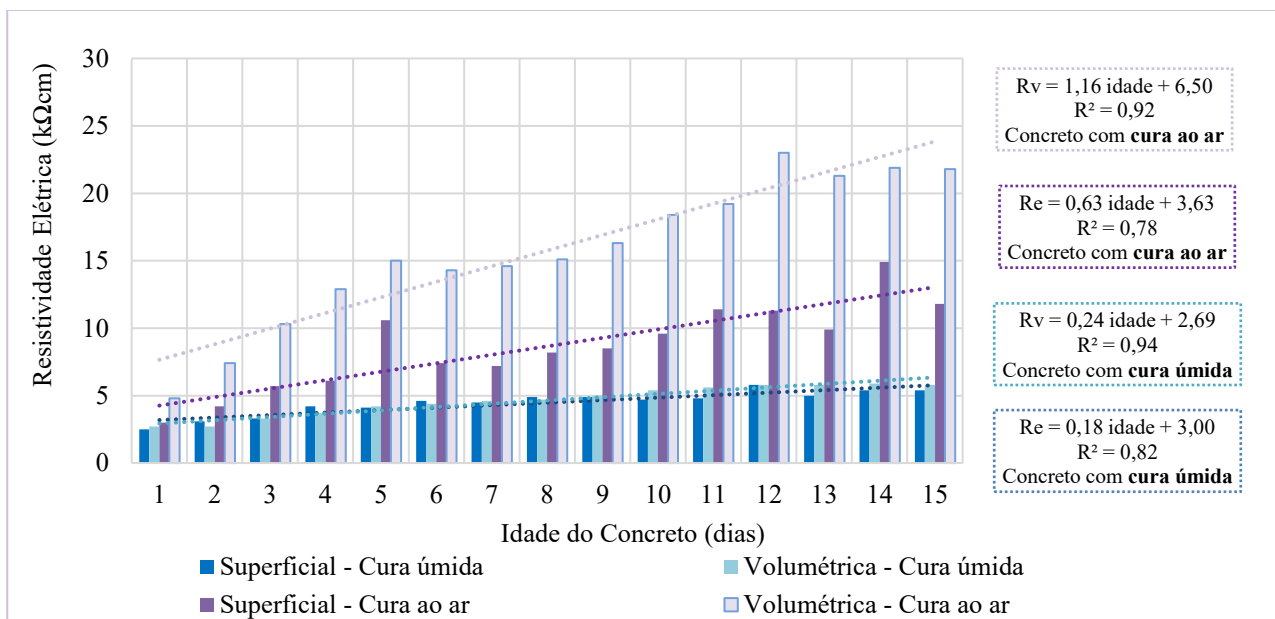


Figura 4 – Resultados de resistividade elétrica superficial aparente e volumétrica do concreto nas duas condições de cura estudadas.

Como resultado geral, nota-se que há uma tendência crescente das propriedades avaliadas na Figura 4 com as idades de leitura, independentemente do tipo de cura realizado. Curas ao ar apresentaram valores de resistividades mais elevados, (Figura 5 e Figura 6) como esperado e como mencionado pela literatura [7] [8] [16], principalmente pelo fato de uma mais densa rede de poros formada pelo processo de saída da água livre (água de amassamento) do concreto [17] [8].

Ao mesmo tempo, a partir dos dados apresentados, infere-se que os valores de resistividade elétrica superficial e volumétrica na condição de cura úmida se aproximam em quase todas as idades iniciais. Já na condição de cura seca ao ar, nota-se uma grande discrepância dos valores medidos de resistividade superficial e volumétrica. Isso pode ser percebido nas leituras de 15 dias por exemplo, em que o valor de resistividade volumétrica é cerca de 84% maior que o de resistividade superficial. Este fato corrobora com a hipótese de que o ensaio de resistividade, tanto superficial quanto volumétrico, precisa ser realizado em amostras com condição de umidade próximo de 100% de saturação dos poros. O simples umedecimento da superfície ensaiada não reproduz com fidelidade as mesmas condições de ensaio em relação

aos corpos de prova em condições de cura úmida com saturação dos poros. As Figuras 5 e 6 ilustram, por meio da evolução dos parâmetros de resistividade elétrica, a diferença entre as medições realizadas nessas duas condições de cura.

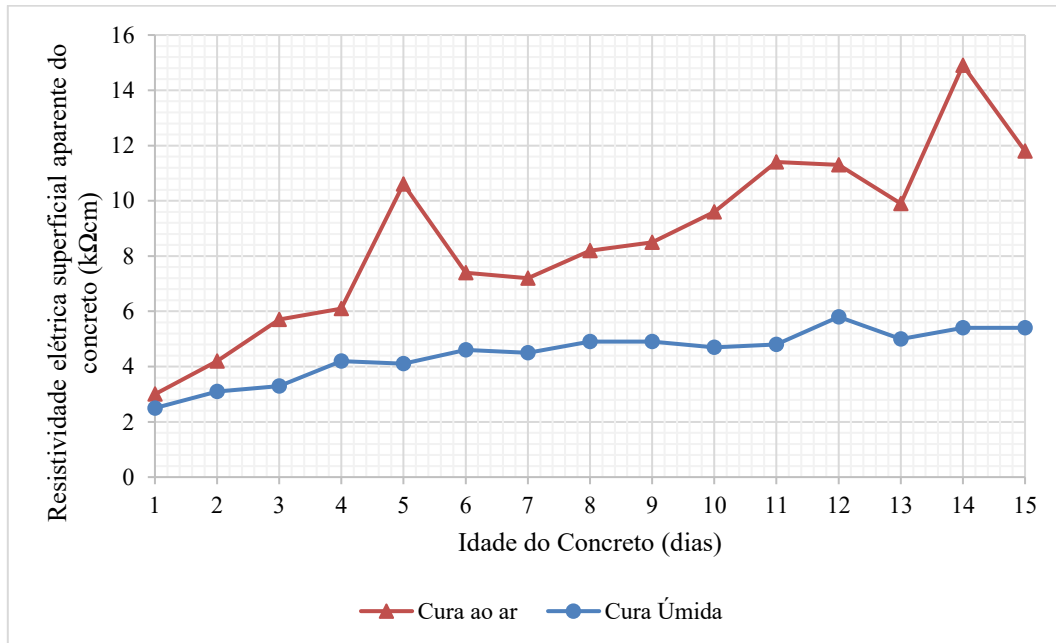


Figura 5 – Evolução dos resultados de resistividade elétrica superficial do concreto.

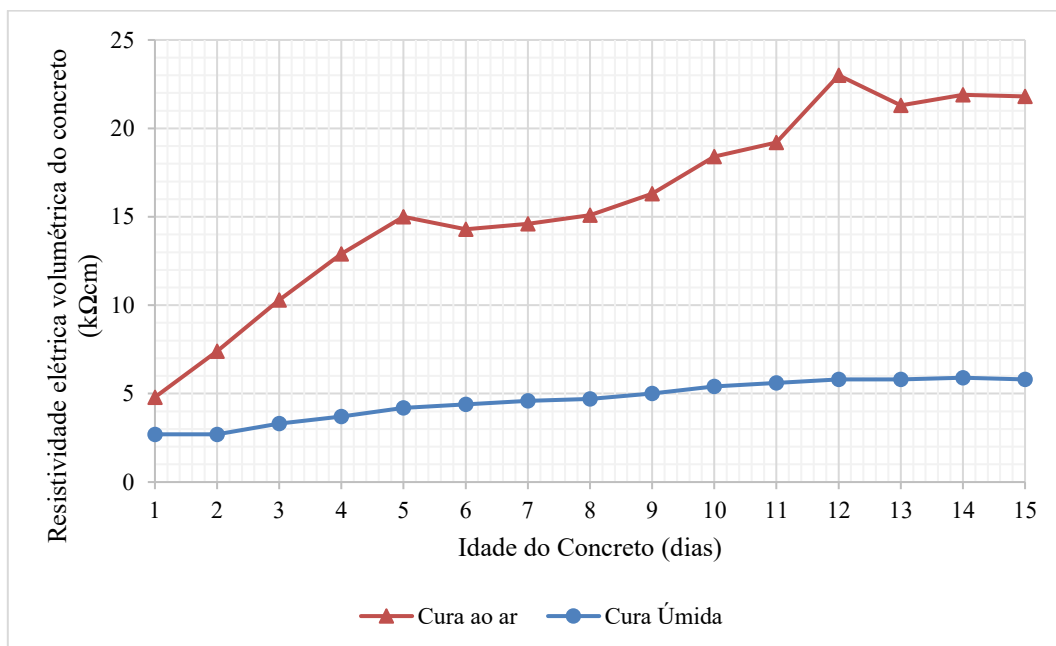


Figura 6 – Evolução dos resultados de resistividade elétrica volumétrica do concreto.

Em análise às Figuras 5 e 6, também pode-se perceber que as curvas relacionadas à cura seca ao ar possuem pontos de picos que remetem a imprecisões nas medidas, principalmente após 10 dias de idade, em que grande parte da água de constituição do concreto é consumida durante o processo de hidratação da pasta de cimento e, portanto, o efeito do aumento da rede de poros do concreto começa a causar interferências nas medidas.

Na Figura 7 são apresentadas as curvas de correlação entre os resultados de resistividade elétrica superficial aparente e resistividade elétrica volumétrica nas duas condições de cura. Para a cura úmida, obteve-se coeficiente de correlação de 0,88 e para a cura seca ao ar de 0,84. Isto expressa uma boa correlação.

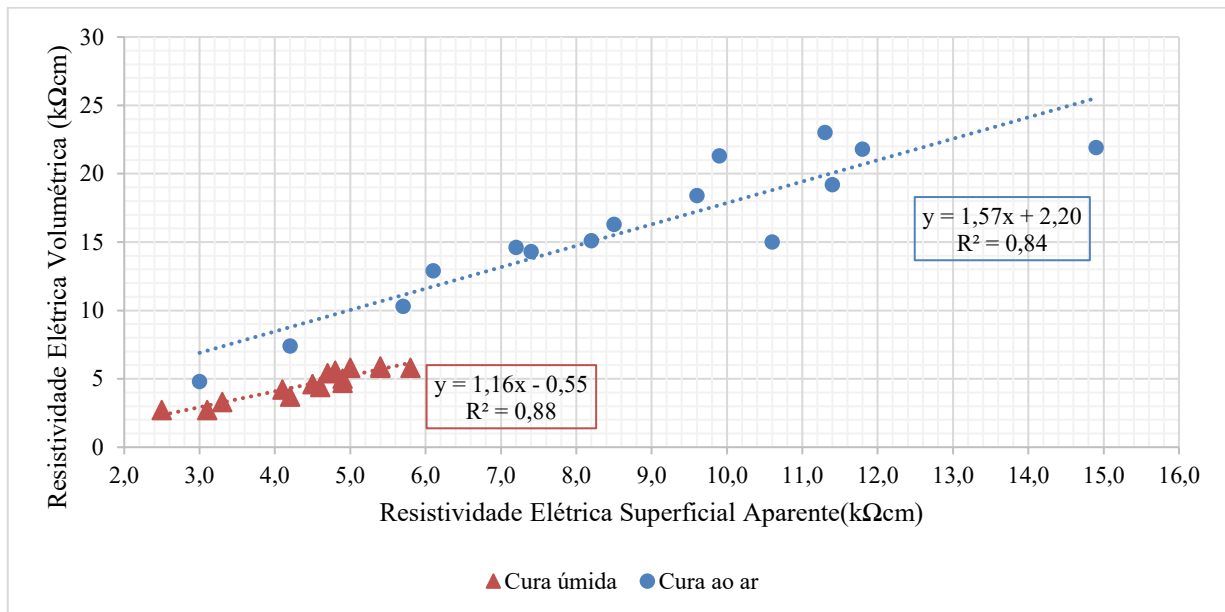


Figura 7 – Curvas de correlação entre os resultados de resistividade elétrica superficial aparente e resistividade volumétrica do concreto.

3.3 Discussão geral e correlações entre os ensaios não destrutivos e resistência à compressão

Pode-se inferir que os dados foram obtidos para apenas 1 tipo de concreto e sem adições minerais. Ensaios adicionais com outros tipos de concreto, com adições minerais e com porosidades diferentes são necessários para uma maior amostragem, representatividade dos ensaios e validação das correlações apresentadas.

A partir dos resultados apresentados nos itens anteriores, realizou-se a correlação dos dados obtidos de resistividade elétrica pelos ensaios não-destrutivos por cura úmida com os dados de resistência à compressão do concreto, com a finalidade de se prever, a partir de ensaios não destrutivos, a resistência do concreto em poucas idades. As curvas obtidas são apresentadas nas Figuras 8 e 9.

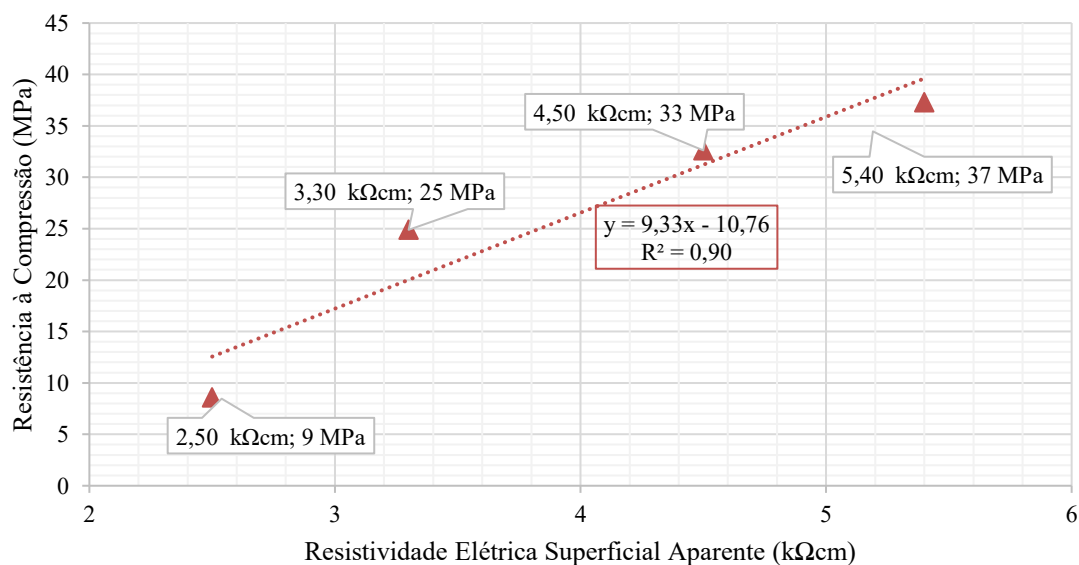


Figura 8 – Curva de correlação entre a resistividade elétrica superficial e resistência à compressão do concreto.

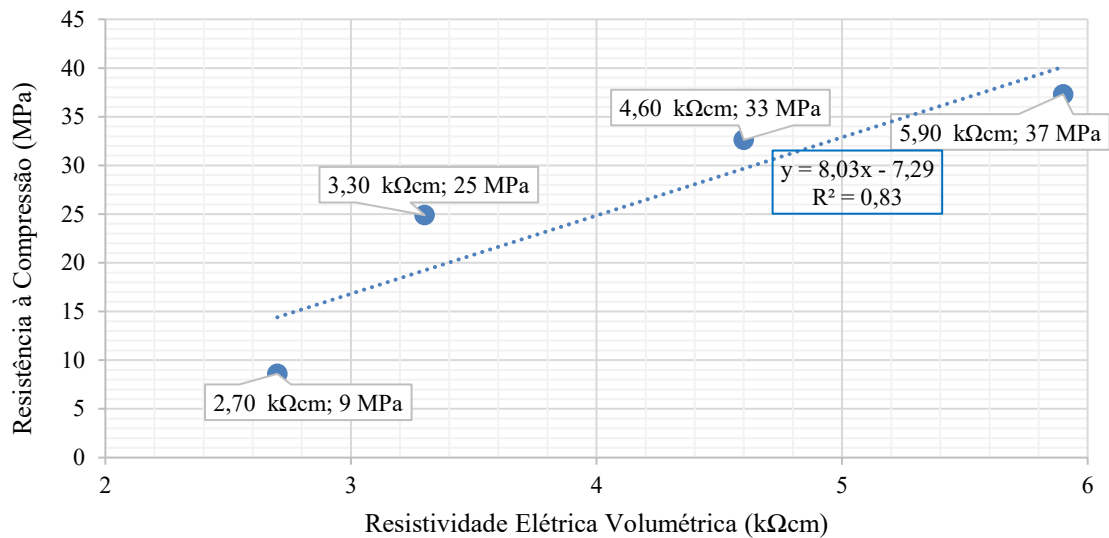


Figura 9 – Curva de correlação entre a resistividade elétrica volumétrica e resistência à compressão do concreto.

Para o concreto em estudo, nota-se que dentre as curvas apresentadas, a que apresenta melhor coeficiente de correlação com a resistência à compressão é a de resistividade elétrica superficial. Embora o ensaio superficial traga consigo incertezas relacionadas às condições da superfície do elemento analisado, principalmente quando comparado ao ensaio volumétrico [7] [8] [14] [16], nas primeiras idades do concreto não se têm a ocorrência de tais agentes degradantes que possam comprometer os resultados obtidos. Entretanto, é muito pertinente que seja realizada essa mesma análise em idades de hidratação mais avançadas com a finalidade de identificar quais as idades críticas em que fenômenos como carbonatação, lixiviação, penetração de íons possam alterar as condições superficiais de realização dos ensaios no concreto em estudo.

Em geral, resultados de resistividade elétrica constantes na literatura de concretos com classes de resistências entre 30 e 50 MPa sem adições minerais e sem a ocorrência de carbonatação ou ataque por cloretos, em 14 dias estão entre 10 e 30 KΩcm [15] [24-26]

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise de resultados obtidos por meio dos ensaios realizados, é possível concluir que:

- A condição de cura do concreto é um fator determinante para a qualidade de execução de estruturas e, conseqüentemente, regula a confiabilidade dos resultados obtidos pelos ensaios não destrutivos, que conforme demonstrado, nas primeiras idades já apresentam diferenças percentuais significativas, a depender do método de ensaio utilizado.
- Para a realização dos ensaios de resistividade elétrica superficial e volumétrica é imprescindível que a amostra em análise esteja em uma condição de poros saturados. Apenas a molhagem superficial não é suficiente para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos pelo ensaio.
- Quando realizados em concretos submetidos a cura úmida, os resultados do ensaio de resistividade elétrica superficial e volumétrica se aproximam bastante. Já quando submetido a cura seca ao ar, os valores chegaram a uma diferença percentual de 84% nas leituras de 15 dias.
- A utilização de correlações entre os resultados obtidos pelos ensaios não destrutivos e a resistência a compressão do concreto nas primeiras idades (1 a 15 dias) é possível desde que sejam observadas algumas condições básicas para realização de cada método de ensaio, como idade, umidade, cura e integridade da superfície do concreto a ser analisado.

- Com o aumento da idade, houve acréscimo dos calores de Re e Rv nas duas condições de cura e concretos com cura seca apresentaram maiores valores de resistividades, como esperado.
- Além disso, valores de 5,4 kΩ.cm e 5,8 kΩ.cm foram obtidos para Re e Rv na idade de 15 dias sob cura úmida, respectivamente. Já para a cura ao ar, valores de 11,8 kΩ.cm e 21,8 kΩ.cm foram obtidos para Re e Rv, nesta ordem.
- Obteve-se a correlação R^2 da ordem de 0,88 e 0,84 entre a Re e Rv para a cura úmida e cura seca. R^2 entre a resistência a compressão e a Re com cura úmida foi de 0,90 e a resistência a compressão e a Rv foi de 0,83 para o presente estudo com um tipo de concreto e sem adições minerais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho faz parte do projeto de P&D - PD. 0394-1704-2017, regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, desenvolvido pela Eletrobrás FURNAS e FUNAPE/UFG/EECA/LABITECC.

REFERÊNCIAS

- [1] BAROGUEL-BOUNY, V.; CUSSIGH, F.; ROUGEAU, P. **Durabilidade dos concretos a partir da abordagem do desempenho. In: Durabilidade do concreto - Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente.** 1ª. ed. São Paulo: Ibracon, 2014. Editores da tradução: Oswaldo Cascudo e Helena Carasek. Cap. 8. Tradução: Pedro Kopschitz Xavier Bastos.
- [2] MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto.** In: Geraldo Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011, v. 1, p. 773-808.
- [3] CASCUDO, O.; TEODORO, R. ; OLIVEIRA, A. M. ; CARASEK, H. . Effect of Different Metakaolins on Chloride-Related Durability of Concrete. **ACI Materials Journal**, v. 118, p. 1-12, 2021.
- [4] OLIVEIRA, ANDRIELLI MORAIS DE ; CASCUDO, OSWALDO . Effect of mineral additions incorporated in concrete on thermodynamic and kinetic parameters of chloride-induced reinforcement corrosion. **Construction and Building Materials**, v. 192, p. 467-477, 2018.
- [5] MELARA, E. K.; TRENTIN, P. O.; PEREIRA, E.; MEDEIROS-JUNIOR, R.A. Contribution to the service-life modeling of concrete exposed to sulfate attack by the inclusion of electrical resistivity data. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 322, p. 126490, mar. 2022.
- [6] SHEN, W.; YUAN, Q.; SHI, C.; JI, Y.; ZENG, R.; LI, W.; CHEN, Z. Influence of pumping on the resistivity evolution of high-strength concrete and its relation to the rheology. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 302, p. 124095, out. 2021.
- [7] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais.** 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.
- [8] LEHNER, P.; HRABOVÁ, K. Relationship of Time-Dependent Parameters from Destructive and Non-Destructive Tests of Structural Concrete. **Mathematics**, 10, 460, 2022.
- [9] AZARSA, P.; GUPTA, R. Electrical Resistivity of Concrete for Durability Evaluation: a review. **Advances In Materials Science And Engineering**, [S.L.], v. 2017, p. 1-30, 2017. Hindawi Limited.
- [10] KURDA, R.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Water absorption and electrical resistivity of concrete with recycled concrete aggregates and fly ash. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 95, p. 169-182, jan. 2019. Elsevier BV.
- [11] SAHUINCO, M. H. C. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto.** 2011. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

- [12] PAN, J.; HE, J.; ZHU, J.; GAO, X. Theoretical and experimental study on the electrical resistivity method for evaluating fresh concrete segregation. **Journal of Building Engineering**, [S.L.], v. 48, p. 103943, maio 2022.
- [13] PIRO, N. S.; MOHAMMED, A.; HAMAD, S. M.; KURDA, R. Electrical resistivity-Compressive strength predictions for normal strength concrete with waste steel slag as a coarse aggregate replacement using various analytical models. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 327, p. 127008, abr. 2022.
- [14] CHEYTANI, M.; CHAN, S.L.I.. The applicability of the Wenner method for resistivity measurement of concrete in atmospheric conditions. **Case Studies In Construction Materials**, [S.L.], v. 15, dez. 2021.
- [15] ARAÚJO, E. C.; MACIOSKI, G.; MEDEIROS, M. H. F. de. Concrete surface electrical resistivity: effects of sample size, geometry, probe spacing and scms. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 324, p. 126659, mar. 2022.
- [16] PEDROSA, Filipe; ANDRADE, Carmen. Spatial variability of concrete electrical resistivity and corrosion rate in laboratory conditions. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 306, p. 124777, nov. 2021.
- [17] BROOMFIELD, J.P. **Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair**. New York: E&FN Spon, 1997.
- [18] CASCUDO. O. **Controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. 1 ed. São Paulo: PINI; Goiânia: Editora UFG, 1997.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 2015.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão**. Rio de Janeiro, 2017.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9204: Concreto endurecido - Determinação da resistividade elétrica-volumétrica - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7117: Medição da resistividade e determinação da estratificação do solo**. Rio de Janeiro, 2012.
- [24] SILVA, L. M. A. **Resistividade elétrica superficial do concreto: influência da cura**. 2016. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia GO, 2016.
- [25] CHOPPERLA, K. S. T.; IDEKER, J. H. Using electrical resistivity to determine the efficiency of supplementary cementitious materials to prevent alkali-silica reaction in concrete. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 125, jan. 2022.
- [26] ZENG, X.; LIU, H.; ZHU, H.; LING, C.; LIANG, K.; UMAR, H. A.; XIE, Y.; LONG, G.; MA, C. Study on damage of concrete under uniaxial compression based on electrical resistivity method. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 254, set. 2020.

ÁREA TEMÁTICA: Desempenho e Durabilidade

PARÂMETROS DE PROJETO E DE EXECUÇÃO DE FACHADAS EM REVESTIMENTO CERÂMICO ADERIDO E A RELAÇÃO COM SUAS PRINCIPAIS ANOMALIAS

SILVA, Maykon¹; BAUER, Elton²;

¹ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, eng.maykonsilva@gmail.com, ORCID 0000-0002-7407-9263

² Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, elbauerlem@gmail.com, ORCID 0000-0003-4559-874X

RESUMO

Este artigo aborda medidas de projetos e de execução a serem tomadas para revestimentos cerâmicos aderidos em fachadas por meio de materiais cimentícios, como argamassas colantes, utilizando como principal referência a norma brasileira NBR 13755:2017. Melhores condições de desempenho podem ser alcançadas por meio de decisões corretas no momento de elaboração do projeto e da sua execução. Este trabalho tem como objetivo sistematizar as principais informações para a tomada de decisões em projetos de revestimento cerâmico aderido em fachadas com enfoque em desempenho e prevenção de anomalias, de modo a tornar o processo mais simples e eficiente. Busca-se também relacionar as medidas adotadas em projeto e execução de revestimentos cerâmicos com as principais anomalias desse sistema construtivo. As etapas que constituem o método são as seguintes: pesquisa bibliográfica em que foram compiladas as principais informações sobre o sistema; sistematização das referidas informações em quadros técnicos e matrizes de correlação. A adoção de parâmetros projetuais, bem como a definição de métodos de execução, agrega qualidade à atividade de projetar e ao processo de construção, evitando assim as manifestações patológicas ao longo da vida útil da edificação e impactando diretamente nos custos pós construção.

Palavras-chave: revestimento cerâmico aderido; projeto de fachadas; execução; anomalias.

ABSTRACT

This article discusses design and execution measures to be taken for ceramic tiles adhered to facades using cementitious materials, such as adhesive mortars, using the Brazilian standard NBR 13755:2017 as the main reference. Better performance conditions can be achieved through correct decisions at the time of project design and execution. This work aims to systematize the main information for decision making in ceramic tile projects adhered to facades with a focus on performance and anomaly prevention, in order to make the process simpler and more efficient. It also seeks to relate the measures adopted in the design and execution of ceramic coatings with the main anomalies of this construction system. The steps that constitute the method are the following: bibliographic research in which the main information about the system was compiled; systematization of the referred information in technical tables and correlation matrices. The adoption of design parameters, as well as the definition of execution methods, adds quality to the design activity and to the construction process, thus avoiding pathological manifestations throughout the life of the building and directly impacting post-construction costs.

Keywords: adhered ceramic coating; facade design; construction; anomalies.

1. INTRODUÇÃO

O presente artigo busca pontuar as condições exigíveis para projeto e execução de revestimento cerâmico aderido por meio de argamassa colante em fachadas, utilizando como principal referência a norma brasileira NBR 13755:2017 [1], que aborda os principais procedimentos de projeto, execução, inspeção e aceitação para revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas aderidos com a utilização de argamassa colante. O sistema construtivo abordado neste trabalho é constituído por diferentes materiais em múltiplas camadas que podem ser identificadas na Figura 1, incluindo os seguintes elementos: placas cerâmicas, argamassa colante, rejunte, argamassas de emboço, chapisco para preparo da base e a base que pode ser de diferentes materiais, entre eles: concreto moldado in loco; concreto pré-moldado; alvenaria

de tijolos maciços; alvenaria de blocos cerâmicos; alvenaria de blocos de concreto; alvenaria de blocos de concreto celular; ou alvenaria de blocos sílico-calcáreos.

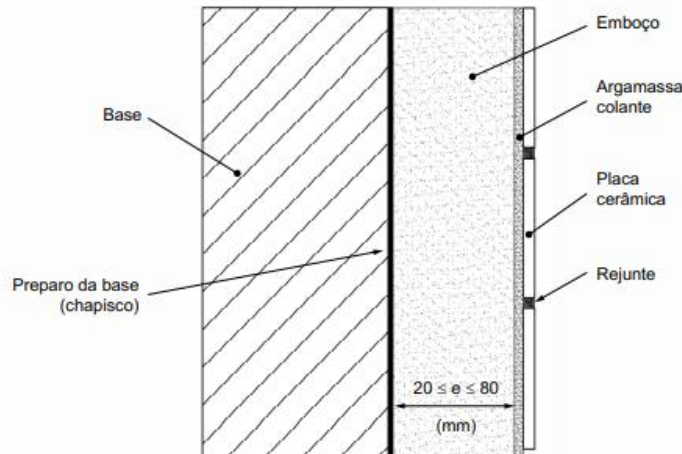


Figura 1 – Esquema do revestimento cerâmico aplicado sobre a base [1].

Esse artigo tem caráter orientativo para que as pessoas possam encontrar informações rápidas que permitam tomar decisões frente a enorme variabilidade dos projetos de revestimento cerâmicos em fachadas e os métodos mais adequados de execução. Para tanto, é importante que o projeto leve em consideração inúmeras variáveis e apresente de forma clara uma lista mínima de parâmetros a serem seguidos para melhor desempenho.

Muitas manifestações patológicas têm origem na etapa de projeto e dessas, grande parte ocorrem nas fachadas como manchas, eflorescências, fissuras e descolamento e degradação das juntas. Contudo, mesmo sendo de grande importância e existindo normas específicas para tal, percebe-se que o projeto de revestimento de fachada ainda não vem sendo tão explorado e diretrizes importantes não são seguidas. Segundo Machado [2], isso prejudica o processo de execução, já que as decisões, que deveriam ser tomadas antecipadamente, acabam sendo tomadas durante a construção de forma improvisada, ou talvez nem sejam tomadas, de modo a comprometer a qualidade do produto. Dessa forma, para que o revestimento cerâmico aderido continue a ser utilizado em larga escala e com maior eficiência, é preciso que os projetistas conheçam os pormenores desse sistema construtivo, que especifiquem adequadamente seus materiais e componentes, que resolvam suas interfaces com outros sistemas pertencentes à edificação e que tomem decisões que proporcionem desempenho, de modo a garantir o atendimento à vida útil de projeto. [2,3]

O trabalho tem o objetivo de sistematizar as principais informações para a tomada de decisões em projetos de revestimento cerâmico aderido em fachadas e na execução, de modo a tornar o processo construtivo mais eficiente e chegar a um produto final com maior durabilidade e vida útil. Para tanto, compila as principais informações sobre o sistema de revestimento cerâmico aderido em fachadas, sistematiza os parâmetros de projetos e execução e por fim, relacioná-los com as principais anomalias de fachadas por meio de uma matriz de correlação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fachadas com revestimento cerâmico aderidos

A fachada faz parte da envolvente do edifício e juntamente à cobertura é responsável pela separação do interior do edifício do meio exterior. Dessa forma, elas exercem papel de extrema importância para a edificação no que diz respeito ao desempenho e durabilidade. [4,5] Assim, a fachada, além de interagir e modificar a paisagem das cidades, deve cumprir a função básica de proteger o interior do edifício, proporcionando estanqueidade, durabilidade e baixo custo de manutenção, ao mesmo tempo em que precisa fornecer luz, calor e ventilação. [6] As fachadas são elementos importantes do edifício e contribuem para o seu desempenho, porém, estão entre os elementos mais susceptíveis à degradação devido a sua exposição aos agentes de degradação externos climáticos como radiação solar, chuva e vento.

Historicamente, os revestimentos cerâmicos têm sido bastante utilizados no Brasil, desde casas, até as fachadas dos altos edifícios litorâneos, onde busca-se, através do uso, estanqueidade e baixa manutenção, além da estética que pode ser inovadora por meio das diferentes cerâmicas encontradas no mercado. Porém, assim como outros sistemas construtivos, apresenta suas anomalias.

A degradação é um processo em que uma ou mais propriedades dos materiais são afetadas pela ação dos agentes de degradação, e esses, por sua vez, são todos aqueles que, agindo sobre a edificação, prejudicam seu desempenho. Assim, a durabilidade não é uma qualidade intrínseca de um material, mas um atributo que depende mais do conhecimento do que dos próprios recursos, de modo que o conhecimento sobre esses agentes permite tomar decisões de projeto que promovem maior proteção aos componentes da edificação, aumentando a sua vida útil. [7]

A combinação de materiais mais deformáveis com materiais mais rígidos contribui para o aparecimento de fissuras nas paredes externas, abrindo caminho para que a água da chuva, empurrada pela força do vento, penetre nos sistemas de vedação externo, de modo a comprometer seu desempenho.[8] A água, ao entrar em contato, promove a degradação dos materiais, causando manchamentos e proliferação de agentes biológicos como fungos.

Os revestimentos, assim como a estrutura e todos os componentes do sistema exposto neste trabalho, também apresentam movimentações diferentes, dilatando-se e contraindo-se com sua exposição ao sol e à chuva e diferentes temperaturas. Quando isso acontece, sobretudo num período curto, esforços de cisalhamento podem fazer com que o revestimento cerâmico se desprenda da base, o que pode ocorrer também na ausência de juntas de movimentação. [9,10]

É imprescindível a valorização do projeto, sobretudo do sistema de fachada, já que são vários os benefícios que esse pode trazer ao empreendimento. Através de especificações corretas, pode-se eliminar as incompatibilidades entre materiais, de modo a garantir durabilidade e atendimento à vida útil de projeto. Além disso, por meio de detalhes claros e objetivos tem-se menor possibilidade de dúvidas durante a execução, evitando-se, assim, erros que levam a perda de desempenho e a ocorrência de manifestações patológicas [9]. O projeto atua também como ferramenta importante para a redução de custos de execução, seja por evitar o desperdício de materiais, seja por eliminar horas improdutivas por indefinições. [3]

2.2 Projeto e execução de fachadas com revestimento cerâmico aderido

O projeto de revestimento aderido deve descrever todo o processo de execução, oferecendo o detalhamento construtivo necessário para que as decisões sejam planejadas e executadas, ao invés de improvisadas no canteiro de obras. Os projetistas devem conhecer previamente os conceitos, informações técnicas e de mercado desse sistema, visando desenvolvimento de projetos à luz de exigências de desempenho e de normas técnicas vigentes, visto que há uma crescente preocupação com a durabilidade e sustentabilidade das edificações.

Assim, o projeto deve fundamentar em: a) projetar considerando os requisitos de desempenho da obra como um todo; b) conhecer as manifestações patológicas mais frequentes do sistema escolhido, procurando-se evitá-las ao nível de detalhes construtivos e especificação de materiais; c) compatibilizar com outros sistemas; d) projetar com vistas à maior racionalidade do processo construtivo, facilitando a execução; e) projetar com vistas à melhor relação custo/ benefício durante a construção e/ou durante o período de utilização do edifício. [11]

O projeto, dessa forma, tem fundamental importância nesse cenário, uma vez que promove uma melhora significativa na qualidade do produto final, reduz custos e falhas de execução, evita o aparecimento de manifestações patológicas e proporciona produtividade às equipes de obras [12]. Definitivamente, projeto e execução não devem acontecer de forma independente, mas sim de forma integrada. A execução deve seguir todos os parâmetros apresentados no projeto e as diretrizes estabelecidas em normas técnicas como a NBR 13755:2017.

2.3 Desempenho de fachadas em revestimento cerâmico

A NBR 15575 [13] define desempenho das edificações como o comportamento em uso de um edifício ou partes pertencentes a este, de modo a proporcionar, aos usuários, condições adequadas para o atendimento das suas necessidades como segurança, saúde, higiene e economia, independente do sistema construtivo ou materiais utilizados. Os requisitos de desempenho devem ser avaliados para determinar se o sistema ou componente atende ou não às exigências dos usuários em três diferentes níveis: mínimo, intermediário e superior.

O desempenho do processo de revestimento cerâmico de um empreendimento depende da relação de todos os materiais e suas técnicas de aplicação específica, para aquela situação de projeto. Sobre a eficiência do sistema de revestimento cerâmico, precisamos considerar vários fatores para garantir um bom resultado, a apropriação dos materiais ao tipo de uso, a qualidade e o planejamento dos serviços de assentamento durante execução e a manutenção durante o uso. Os principais requisitos de desempenho a serem considerados na elaboração de projetos de fachada são: segurança, habitabilidade e sustentabilidade.

2.4 Anomalias em fachadas de revestimento cerâmico

As anomalias originam da ação dos agentes de degradação os quais por mecanismos específicos levam a deterioração ou queda de desempenho dos edifícios e seus elementos. [14] Dentre as diversas anomalias comuns em sistemas de revestimento cerâmico, destaca-se o descolamento cerâmico, fissuração, manchas e a falha nas juntas [15]. A descrição dessas anomalias se encontra na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação e agrupamento dos danos nas fachadas [15].

| Grupo de anomalias | Descrição |
|-----------------------------------|---|
| Descolamento cerâmico (DT) | Envolve todas as anomalias associadas com o desprendimento de peças cerâmicas de fachadas, independentemente da causa (estresse, tensão, deslocamento, falhas na execução, entre outras), e independentemente de como ela ocorre (na superfície, na base de argamassa, entre outras). |
| Fissuração (CR) | Envolve todas as fissuras no revestimento cerâmico, independentemente de sua manifestação e origem, bem como da zona da fachada onde ocorre. |
| Falha nas juntas (JO) | Anomalias observadas em qualquer junta na fachada. Qualquer situação é computada, tais como: rachaduras e remoção do material de enchimento, falhas nos selantes, entre outros. |
| Manchas (ST) | Manchas superficiais de qualquer natureza, como eflorescência, umidade, entre outras. |

3. METODOLOGIA

A metodologia se divide nas seguintes etapas: a) pesquisa bibliográfica, em que foram compiladas informações relevantes ao desenvolvimento do projeto e da execução da construção; b) sistematização das principais informações e parâmetros que o projeto deve conter; c) sistematização das principais diretrizes a serem seguidas durante a execução; d) apresentação das principais anomalias resultantes de erros de projetos e/ou execução; e) apresentação da matriz de correlação que apresenta a relação entre as anomalias e suas causas relacionadas com as fases de projeto e execução.

As informações compiladas na pesquisa bibliográfica foram sistematizadas em quadros técnicos que definem os parâmetros para a elaboração de projetos em revestimento cerâmico em fachadas e parâmetros para a sua execução. Por fim, foram analisadas as relações entre erros de projetos e execução, e as anomalias resultantes em fachadas de revestimento cerâmico, por meio de matriz de correlação.

A elaboração de matrizes de correlação possui o objetivo de apresentar a relação existente entre as anomalias e as variáveis de projeto e execução citadas. É possível identificar, por exemplo, quais as causas são mais representativas para determinada anomalia. Adota-se a metodologia de classificação do grau de correlação proposta por Brito [16]:

- 0 - sem relação - não existe qualquer relação direta entre duas variáveis;
- 1- pequena relação – uma se relaciona de forma indireta com a outra; uma não depende da outra para o desenvolvimento do processo de deterioração, porém, pode agravar os seus efeitos, ou seja, já é uma relação possível.
- 2 - grande relação – No processo de deterioração, as duas variáveis possuem relação direta e constitui uma das razões principais para o agravamento da deterioração, ou seja, há uma forte relação.

Esta definição é obtida a partir de uma análise minuciosa e utilizando resultados obtidos nos trabalhos de Silvestre [17] e Santos [18]. Como resultado tem-se as variáveis com os maiores números como as mais relevantes.

4. RESULTADOS

Neste capítulo, as informações obtidas na fundamentação teórica foram sistematizadas em quadros técnicos, a fim de constituir parâmetros para a elaboração de projetos de revestimento cerâmico aderido em fachadas, bem como os parâmetros de execução. Além disso, apresenta a matriz de correlação, que relaciona as principais diretrizes de projeto e execução com as principais anomalias encontradas em edifícios com fachadas em revestimento cerâmico.

4.1 Considerações relativas aos materiais

Cada material deve ser armazenado segundo seu tipo em locais secos, de forma individual, limpos, cobertos, sem contato com o piso, devidamente identificados e com controle de acesso. Os materiais utilizados devem estar de acordo com suas normas específicas. Na Figura 2 são apresentadas importantes diretrizes a seguir no momento da escolha de alguns materiais componentes do sistema:

| | |
|-------------------|--|
| Argamassa colante | A argamassa colante deve estar em conformidade com a ABNT NBR 14081-1, e deve estar indicada em projeto em todos os casos. Para o assentamento de placas cerâmicas ou pastilhas, a argamassa deve ser, no mínimo, do tipo AC III. Exceções que permitam o uso de produtos tipo AC II devem estar indicadas em projeto, restringindo a edifícios de altura total de no máximo 15m. |
| Placas cerâmicas | <ul style="list-style-type: none"> a) devem apresentar absorção máxima de 6 %. Para regiões onde a temperatura atinja 0 °C, a absorção máxima não pode ser superior a 3 %; b) devem estar secas no momento do seu assentamento; c) a EPU (expansão por umidade), como especificado na ABNT NBR 13818:1997, deve ser indicada em projeto e estar limitada ao valor máximo de 0,6 mm/m; d) devem estar armazenadas na obra por lote, tonalidade, acabamento etc; e) não podem apresentar engobe de muratura pulverulento em quantidade superior a 30 % da área do tardo da placa. |
| Aditivos | Podem ser incorporadas às argamassas para aumentar o desempenho destes materiais em alguns requisitos, como, por exemplo aderência, capacidade de deformação, impermeabilidade etc. |

Figura 2 - Diretrizes para escolha de materiais componentes do sistema de revestimento – adaptado da NBR 13755 [1]

i. Componentes para juntas de movimentação

Na figura 3 são apresentadas algumas informações que devem ser levadas em consideração para escolha e aplicação dos materiais componentes das juntas de movimentação.

| | |
|------------------------------|---|
| 1) Selantes | <p>Na vedação das juntas de movimentação devem ser empregados selantes elastoméricos e as recomendações do fabricante devem ser estritamente seguidas.</p> <p>Na etapa de aplicação, os selantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) devem ser capazes de acomodar pequenas variações dimensionais toleradas em projeto; b) devem apresentar comportamento adequado para aplicações verticais, sem escorrimientos; c) devem apresentar tempo adequado de trabalhabilidade, secagem e cura (polimerização). |
| 2) Limitador de profundidade | <ul style="list-style-type: none"> a) deve ser quimicamente compatível com o selante selecionado; b) deve retornar à sua forma original depois de comprimido por um ciclo de trabalho da junta; c) não pode absorver umidade além daquela de equilíbrio com o ambiente; d) não pode expulsar o selante quando houver compressão da junta. <p>Caso o selante apresente aderência sobre o limitador de profundidade, este fato deve ser inibido por meio da aplicação de fitas ou outra técnica que impeça o contato entre ambos.</p> <p>Espuma de polietileno de baixa densidade e borracha alveolar (ambos de células fechadas) podem ser exemplos de materiais adequados para utilização como limitadores de profundidade.</p> |
| 3) Perfis pré-formados | Em casos específicos, como, por exemplo, para vedação de juntas estruturais, a aplicação de selantes pode não ser adequada e o uso de juntas industrializadas ou a aplicação de cobre juntas pode ser necessário. O tipo de junta, seu perfil e sua técnica de aplicação devem ser especificados em projeto. |

Figura 3 - Materiais componentes das juntas de movimentação e suas diretrizes – adaptado da NBR 13755 [1]

4.2 Considerações de Projeto

O projeto de revestimento de fachada é obrigatório e, pela sua característica, deve ser desenvolvido por profissional legalmente habilitado na forma de procedimentos. O projeto de revestimento visa produzir detalhes construtivos e especificações técnicas de materiais e métodos construtivos adequados a cada situação. As diversas camadas que compõem o sistema, se fossem de movimentação livre, apresentariam comportamento bastante diferenciado das camadas que apresentam quando integrados ao sistema, que impõem restrições e levam ao surgimento de esforços internos. Estes esforços tendem a ser tão mais expressivos quanto mais rígidas as camadas e, caso atinjam valores excessivos, podem levar ao surgimento de fissuras, perda de aderência e outros problemas. Algumas exigências a serem seguidas durante a tomada de decisões na fase de projeto pode ser visualizada na Tabela 2:

Tabela 2 - Exigências na tomada de decisões durante a fase de projeto – adaptado da NBR 13755 [1]

| Exigência | Especificação |
|---|--|
| Espessura do revestimento – Limites para as camadas individuais da argamassa de emboço: | a) Espessura limite superior (ELS): espessura máxima de uma camada: 50 mm; b) Espessura limite inferior (ELI): espessura mínima de uma camada: 20 mm. NOTA: As espessuras das camadas de argamassa podem ser diferentes das citadas pelas ABNT NBR 7200 e ABNT NBR 13749 |
| Espessura total de argamassa | 20mm a 80mm |
| Proporção volumétrica dos componentes da argamassa | A proporção volumétrica dos componentes da argamassa preparada em obra deve constar do projeto de revestimento de fachada (PRF). |
| Reforços | Podem ser previstos em projeto reforços: a) Para suporte de carga b) Para atenuação de fissuras |

i. Dados de entrada do projeto de revestimento:

Antes de iniciar um projeto de revestimento cerâmico de fachadas, deve levar em consideração diversos fatores, dentre eles o estado-limite de serviço da estrutura, deslocamentos excessivos, cronograma de execução da estrutura, exigências arquitetônicas, tipo de emboço e suas características, tipo e propriedades da argamassa colante, características do rejunte e do selante, além da variação térmica a curto e médio prazos.

ii. Conteúdo mínimo do projeto de revestimento:

O projeto de revestimento deve conter, no mínimo, as informações contidas na Figura 4. Estas especificações podem ser fornecidas na forma de texto, esquemas, detalhes construtivos ou quaisquer outros meios, de modo a evitar dúvidas.

| |
|--|
| Especificações que contemplem todos os dados de entrada levados em consideração na elaboração do projeto; |
| Tipo de chapisco, tipo de emboço e forma de produção e controle de ambos; |
| Técnica de mapeamento de espessuras do emboço; |
| Tipos de aditivos (quando utilizados), sua forma de uso e proporcionalmente em relação às argamassas; |
| Reforços (caso existentes): posicionamento, tipos, formas de aplicação e ancoragem à base; |
| Resistência de aderência do conjunto chapisco/emboço à base e resistência superficial do emboço; |
| Resistência de aderência das placas ao emboço, além do tipo de argamassa colante; |
| Técnica de assentamento das placas, cuidados a serem tomados e ferramentas utilizadas; |
| Largura das juntas de assentamento e tipo de rejunte; |
| Limite máximo admissível da EPU das placas cerâmicas e paginação das placas para reduzir fracionamento; |
| Especificação do selante (propriedades) e do limitador de profundidade nas juntas; |
| Tamanho dos panos de revestimento e especificação das juntas de movimentação: geometria, posição; |
| Detalhamento das juntas de movimentação: movimento esperado, tipo de selante ou perfil pré-formado, limitador de profundidade, técnica de execução e cuidados especiais; |
| Detalhes construtivos: encontro das placas em quinas internas e externas, encontros de tipos distintos de placas, encontro com esquadrias, peitoris, pingadeiras; detalhes de requadro de vãos, molduras, faixas etc.; |

Figura 4 – Conteúdo mínimo do projeto de revestimento de fachadas – adaptado da NBR 13755 [1]

iii. Juntas

a) Juntas de assentamento ou colocação: A combinação da largura das juntas com as propriedades do material de enchimento deve ser tal que absorva as variações dimensionais intrínsecas das placas, sejam elas oriundas de variações térmicas, higroscópicas, expansão por umidade ou outra, sem induzir tensões deletérias no pano cerâmico. A largura da junta de assentamento deve estar especificada no PRF, respeitando a largura mínima definida pelo fabricante da placa cerâmica ou pastilha. Para as placas cerâmicas, sugere-se que a largura mínima seja de 5 mm; para as pastilhas, a largura da junta é definida pelo fabricante. [1]

b) Juntas de movimentação: De maneira geral, juntas em revestimento de fachada são juntas seladas, ou seja, preenchidas por um selante que atende aos requisitos já especificados. Conforme o tipo de corte do emboço e a posição da junta no revestimento, sua nomenclatura pode sofrer algumas variações, como: junta de dessolidarização, junta de contorno, junta de transição etc. Porém, esta nomenclatura não promove distinção na geometria e/ou função das juntas. [1]

As juntas de movimentação podem apresentar maior ou menor grau de movimento (dependendo do caso) e devem estar detalhadas no projeto. A relação largura/profundidade também deve estar especificada no projeto de acordo com o movimento esperado e as propriedades do selante aplicado. Normalmente devem ser utilizadas proporções entre profundidade e largura do selante de 1:1 a 1:2. Devem possuir perfil retangular, com bordas firmes, coesas, lisas e livres de irregularidades, depressões e saliências. O correto preenchimento da junta, mantendo uma geometria regular do selante, é fundamental para seu desempenho. Uma configuração típica é ilustrada pela Figura 5.

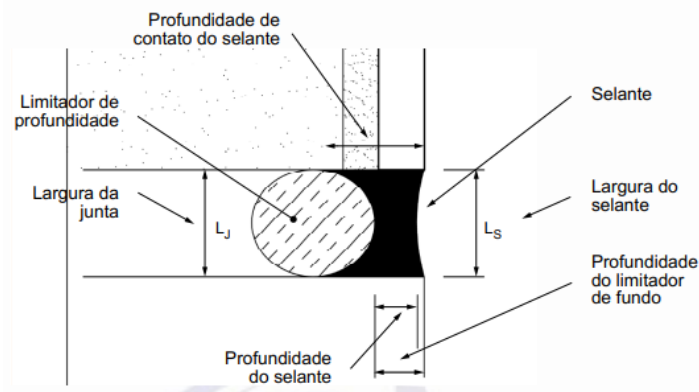


Figura 5 - Configuração típica das juntas seladas [1]

Normalmente, a espessura mínima no ponto mais crítico da junta (profundidade do selante) deve ser de 6 mm, mas as prescrições do fabricante devem ser contempladas. A largura mínima da junta deve ser indicada em projeto, mas convém que ela não tenha menos de 15 mm para que sua exequibilidade não seja prejudicada.

Em relação ao seu posicionamento, no caso de juntas horizontais em estruturas reticuladas de concreto com vedação em alvenaria, convém que sejam posicionadas a cada pavimento, coincidindo com a interface alvenaria/estrutura (fundo de viga), uma vez que esta tende a ser a região mais suscetível a movimentos diferenciais. Entretanto, outras concepções estruturais, como alvenaria estrutural e paredes de concreto, podem exigir o posicionamento da junta em locais distintos. Desta forma, a posição exata das juntas deve ser definida em projeto. Recomenda-se que a distância entre as juntas horizontais não seja superior a 3 m. Para as juntas verticais, recomenda-se que sejam posicionadas no máximo a cada 6 m.

c) Junta estrutural: As juntas estruturais são definidas pelo calculista da estrutura de acordo com as movimentações previstas para cada parte da edificação. Sobre as juntas estruturais, o projeto de revestimento deve contemplar a execução de juntas de movimentação com corte do emboço necessariamente até a base, sendo elas coincidentes. Estas juntas podem apresentar movimentação cíclica significativa nas direções dos três eixos coordenados, motivo pelo qual o uso de selantes pode não ser tecnicamente viável. Nestes casos, os selantes devem ser substituídos por outros elementos vedantes, como, por exemplo, os perfis pré-formados ou os mata-juntas, sendo que estes elementos devem apresentar capacidade de movimentação cíclica conforme previsto em projeto.

4.2 Considerações para execução do revestimento cerâmico

Antes do início do assentamento das placas, o projeto de revestimento de fachada deve estar concluído e as equipes de obra – produção, controle e apoio logístico (almoxarifado, transporte) devem estar treinadas em todos os detalhes técnicos e estéticos envolvidos na produção. A execução do revestimento com placas cerâmicas somente deve ser iniciada depois de serem concluídas todas as instalações embutidas nas fachadas ou que nelas provoquem interferência, como por exemplo: canalizações de água e esgoto; elementos diversos embutidos como caixas de passagem e derivação e batentes;

Condições ambientais agressivas, como umidade relativa abaixo de 25 %, temperatura ambiente inferior a 5 °C ou superior a 40°C e ventos constantes podem exigir cuidados especiais, suspensão do assentamento ou uso de produtos específicos e com desempenho adequado. Especial atenção deve ser adotada em casos de altas temperaturas em conjunto com ventos, pois o tempo em aberto real da argamassa colante pode ser reduzido a poucos minutos.

Uma vez que o revestimento de argamassa é afetado diretamente pelo comportamento da base, não convém que sua execução seja iniciada antes que a estrutura já esteja solicitada pelo peso próprio e sobrecarga de todas as alvenarias, prevenindo-se assim tensões advindas da deformação imediata, parte da deformação lenta, recalque admissível das fundações e retração das argamassas nas alvenarias. A Tabela 3 apresenta diretrizes para a execução das argamassas e a Tabela 4 para execução do assentamento das placas cerâmicas.

Tabela 3 – Diretrizes para execução das argamassas - adaptada da NBR 13755 [1]

| Material/etapa | Execução |
|---|--|
| Chapisco e emboço | <p>A idade mínima do chapisco para aplicação do emboço deve ser de três dias, salvo recomendações em contrário do fabricante.</p> <p>Detalhes específicos inerentes a cada obra devem ser previstos em projeto, como por exemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> tratamentos especiais da base e chapiscos diferenciados; acabamento superficial específico da argamassa com vistas a obter a resistência desejada. A camada de emboço deve possuir acabamento tal que a resistência superficial atenda ao prescrito em norma. |
| Condições do emboço para aplicação da argamassa colante | <p>Além do requisito de resistência mecânica, a superfície do emboço deve:</p> <ol style="list-style-type: none"> estar limpa, isenta de materiais estranhos, como por exemplo pó, óleos, tintas, escorrimientos; eflorescências, bolores, fuligem etc., que possam impedir a boa aderência da argamassa colante; estar seca ou em caso de chuvas, o emboço pode estar na condição saturado superfície seca; apresentar temperatura superior a 5 °C e inferior a 30 °C. Em temperaturas superiores a 30 °C, deve ser feito o umedecimento prévio do emboço para diminuir sua temperatura; apresentar-se sem fissuras e, quando percutida, não apresentar som cavo, o qual pode indicar problemas de aderência à camada subjacente, ou desta ao chapisco, ou do chapisco à base; estar aprumada em suas quinas internas e externas, evitando o surgimento de cunhas e cortes desnecessários nas placas; apresentar caimento e abertura de requadros conforme especificado em projeto; estar com juntas e outros detalhes que se mostrem necessários mecanicamente finalizados. |
| Preparo da argamassa colante | <p>Vários produtos industrializados estão disponíveis no mercado e as recomendações do fabricante devem ser rigorosamente seguidas em todos os casos de uso. O tipo de argamassa colante deve estar especificado no projeto.</p> <p>A quantidade de água de amassamento deve ser aquela indicada na embalagem do produto.</p> <p>A argamassa deve ser preparada e mantida durante seu uso em um recipiente estanque, não absorvente, limpo, de plástico, fibra ou metal. É vedado o uso de caixotes de madeira. O preparo deve ser feito em local protegido da chuva, misturando o pó até obter uma consistência pastosa e firme, sem grumos secos. Recomenda-se o preparo em região protegida do sol e do vento.</p> <p>A mistura mecânica é obrigatória, preferencialmente com auxílio de haste helicoidal acoplada em furadeira com controle de rotação, evitando o excessivo acúmulo de ar na mistura.</p> <p>O tempo de descanso/repouso e o tempo limite de uso da argamassa fresca devem estar de acordo com as recomendações do fabricante.</p> <p>Ao longo de sua utilização, a argamassa deve ser remisturada de modo a manter sua trabalhabilidade, sendo vedada a adição de água durante este período.</p> |

Tabela 4 – Diretrizes para execução do assentamento das placas cerâmicas – adaptada da NBR 13755 [1]

| Etapa | Execução |
|--|---|
| Assentamento das placas cerâmicas | <p>Placas cerâmicas com reentrâncias no tardo de 1 mm ou mais devem ter os sulcos preenchidos por argamassa colante com auxílio do lado liso da desempenadeira.</p> <p>O uso da desempenadeira denteada tem por objetivo proporcionar uma camada regular e de espessura uniforme para o assentamento das placas cerâmicas. Para o caso de pastilhas, a camada de argamassa resulta em torno de 2 mm a 3 mm, enquanto, para placas maiores assentadas em camada dupla com desempenadeiras de 8 mm, a camada final possuirá espessura média de 6 mm. De acordo com a área da placa cerâmica, deve se usar determinada largura mínima dos dentes da desempenadeira, determinada altura dos cordões de argamassa e utilizar camada única ou dupla. Essas informações devem ser consultadas na NBR 13755:2017.</p> |
| Preenchimento do tardo | <p>É de fundamental importância que o preenchimento mínimo do tardo seja obedecido, tanto por motivos mecânicos como pelo surgimento de problemas relativos à infiltração de água.</p> |
| Tempo em aberto | <p>O tempo em aberto real deve ser estimado no local por meio da formação de cordões de argamassa em aproximadamente 0,25 m² de área do emboço. O tempo em aberto real é excedido quando o toque dos cordões, sem esmagamento, resulta na retirada dos dedos sem vestígios de argamassa.</p> |
| Assentamento | <p>O assentamento só pode ser iniciado após cura mínima do emboço de 14 dias e deve seguir os passos explicitados na sequência:</p> <ol style="list-style-type: none"> estender a argamassa colante com o lado liso da desempenadeira, apertando-a de encontro ao emboço, formando uma camada uniforme de argamassa. A seguir, aplicar o lado denteado, formando cordões que facilitam o nivelamento e a fixação das placas cerâmicas; em caso de dupla camada, aplicar a mesma técnica para formar os cordões no verso da placa seca. Recomendam-se cordões paralelos no verso da placa e na superfície do emboço; aplicar a placa cerâmica sobre os cordões de argamassa colante; ajustar a placa até que seja atingido o preenchimento mínimo do tardo. limpar o excesso de argamassa das juntas de assentamento, de modo a não haver contaminação do rejunte na etapa subsequente. É vedado o aproveitamento de sobras de argamassa colante, após vencido seu tempo de vida. |
| Rejuntamento das placas cerâmicas | <p>Antes do início do rejuntamento, as placas devem ser verificadas por meio de percussão com instrumento não contundente (cabo de madeira, martelo de plástico duro) à procura de som cavo. Caso isto ocorra, a placa deve ser removida e reassentada.</p> <p>As juntas entre as placas cerâmicas devem estar isentas de sujidades, resíduos e poeiras que impeçam a penetração e aderência da argamassa de rejuntamento.</p> <p>Especial atenção deve ser dada para rejuntas coloridos, evitando manchas sobre as placas mesmo após a limpeza final. O rejuntamento das placas cerâmicas deve ser iniciado no mínimo três dias após o assentamento e as juntas de assentamento não podem estar encharcadas.</p> <p>O rejuntamento deve ser executado conforme a seguir: limpar as juntas, umedecer as juntas, aplicar a argamassa de rejuntamento em excesso, remover o excesso e por fim, executar a limpeza grossa das placas após a secagem inicial do rejunte.</p> |
| Preenchimento das juntas de movimentação | <p>O preenchimento das juntas de movimentação não pode ser iniciado antes de sete dias do término do rejuntamento. Alguns cuidados devem ser tomados com relação ao preparo:</p> <ol style="list-style-type: none"> as bordas devem possuir perfil retangular e estar firmes, coesas, lisas e livres de irregularidades e obstruções à junta, depressões e saliências. a junta deve estar isenta de contaminações e impregnações de qualquer natureza, como óleos, graxas, desmoldantes, pó ou micro-organismos biológicos, como mofo, fungos etc. <p>A relação largura/profundidade (fator de forma) é especificada em projeto de acordo com o tipo de junta e com as propriedades do selante aplicado. Tanto nos casos de uso limitador de profundidade ou de fita isoladora como fator limitante do selante, o fator de forma precisa ser garantido. Como regra geral, o limitador deve possuir diâmetro maior que o tamanho do sulco.</p> <p>O selante deve ser aplicado com pistola própria, imediatamente após a inserção do limitador de profundidade, sempre no mesmo sentido e preenchendo completamente a junta e seu acabamento superficial deve ser levemente côncavo. O limitador não pode ser inserido no dia anterior, evitando desta forma acúmulo de água de chuva ou umidade.</p> |

4.3 Matriz de correlação

Foi elaborada uma matriz de correlação (Figura 6), relacionando os principais critérios de projeto e execução citados no trabalho com as principais anomalias identificadas em fachadas com revestimento cerâmico aderidos em edifícios em Brasília/DF. Por meio de uma classificação numérica, busca-se apresentar os fatores de projeto e execução que mais se relacionam com cada tipo de anomalia citada.

| MATRIZ DE CORRELAÇÃO CAUSAS-ANOMALIAS | | Descolamento cerâmico | Fissuração | Falhas nas juntas | Manchas | TOTAIS |
|---|--|-----------------------|------------|-------------------|---------|--------|
| | | | | | | |
| Erros de projeto | Escolha de materiais incompatíveis | 2 | 0 | 1 | 1 | 4 |
| | Especificações de materiais (traços, tipos de argamassa, tipo de cerâmica) | 2 | 1 | 2 | 1 | 6 |
| | Especificação da camada de chapisco para regularização | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Especificação técnica de camada de emboço | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | Especificação técnica de argamassa colante | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| | Prescrição de colagem simples em vez de dupla | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | Dimensionamento incorreto das juntas do RCA | 1 | 1 | 2 | 0 | 4 |
| | Inexistência de juntas periféricas, construtivas ou de esquadramento | 1 | 1 | 2 | 0 | 4 |
| | Deformações excessivas do suporte | 2 | 2 | 1 | 0 | 5 |
| | Especificação técnicas de execução de reforços (ex.telas) | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| | Encontro alvenaria estrutura (pilar, alvenaria e aperto) | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| | Presença de pingadeiras (ou detalhes técnicos de planos de vedação e aberturas) | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| Erros de execução | Utilização de materiais não prescritos | 1 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| | Aplicação em condições ambientais extremas | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 |
| | Desrespeito pelos tempos de espera entre as várias fases de execução | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| | Aplicação em suportes sujos, pulverulentos ou não regulares | 2 | 0 | 1 | 1 | 4 |
| | Desrespeito pelo tempo aberto do adesivo | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| | Dificuldades de execução (cantos, requadramentos e extremidades) | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 |
| | Espessura inadequada do material de assentamento | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Contato incompleto ladrilho-material de assentamento | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | Assentamento de ladrilhos nas juntas de dilatação | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| | Colagem simples em vez de dupla | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | Utilização de material de assentamento ou de preenchimento de juntas de retração elevada | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 |
| | Preenchimento de juntas sujas | 0 | 0 | 2 | 1 | 3 |
| | Execução de juntas com largura ou profundidade inadequada | 1 | 1 | 2 | 0 | 4 |
| Não execução de juntas | 2 | 2 | 0 | 0 | 4 | |
| Preenchimento incompleto das juntas de assentamento | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | |
| Quantidade de causas prováveis | | 24 | 15 | 13 | 9 | |
| Somatório dos índices | | 35 | 17 | 32 | 19 | |

Figura 6 – Matriz de correlação

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que a sistematização das principais informações sobre o sistema de revestimento cerâmico aderido em fachadas constituem importantes parâmetros de projeto que contribuem para a tomada de decisões, tornando a atividade de projetar mais eficiente e simplificada, além de promover melhores condições de execução, que terá reflexo no desempenho. O projeto executivo de revestimento cerâmico aderido em fachadas, com informações claras e suficientes, e seus detalhamentos garante o correto entendimento, de modo a oferecer maior eficiência em todo o processo de execução. Quando esse sistema é projetado e construído segundo critérios bem definidos, melhora o desempenho da edificação, bem como promove durabilidade e evita a incidência de manifestações patológicas, elevando a vida útil da edificação. É importante destacar, que proporciona também ao canteiro de obras agilidade construtiva e menor possibilidade de desperdícios, tanto de materiais quanto de tempo de mão de obra. Com base na matriz de correlação e nas informações sistematizadas, as quais constituíram parâmetros de projetos e execuções em sistemas de revestimento cerâmico aderido em fachadas, concluiu-se também que inúmeros são os critérios de projetos e execução a serem considerados e cada um reflete de forma direta ou indireta nos diferentes tipos de anomalias encontradas nas edificações, cada um com um peso diferente. Identifica-se que a anomalia com mais causas prováveis é o descolamento e a somatória dos índices corrobora essa informação. Verifica-se também que a especificação dos materiais na fase de projeto é um dos fatores responsáveis por maiores pesos no desencadeamento das anomalias. Conclui-se que seguir as normas de projeto e execução é primordial para garantir qualidade da construção e maior vida útil da edificação.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela bolsa de estudos e auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755: Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante — Projeto, execução, inspeção e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2017.
- [2] MACHADO, A. L. A.; OLIVEIRA, L. A. **Orientações para Elaboração de Projeto de Fachadas com Revestimento Não Aderido: Aspectos Estruturais e de Durabilidade das Subestruturas Metálicas**. In: XIV ENTAC- Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora, 2012.
- [3] MEDEIROS, J. S.; MELLO, M. B.; ROGERO, M. V. V.; SEGUNDO, M. J. P.; PIETRANTONIO, V. B. **Tecnologias de vedação e revestimento para fachadas**. Instituto do Aço Brasil/CBCA (Série Manual de construção em aço). Rio de Janeiro, 2014.
- [4] PIAZZAROLLO, C. B. **Estudo da evolução e da gravidade da degradação nas diferentes zonas componentes da fachada**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília. p. 152, 2019.
- [5] SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília. 2016
- [6] CEOTTO. **Fachadas comerciais no Brasil tendem a ser de granito e vidro**. Revista Rochas de Qualidade, São Paulo, 2010.
- [7] ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília. Brasília, 2015.
- [8] MEDEIROS, J. S.; FRANCO, L. S. **Prevenção de trincas em alvenaria através do emprego de telas soldadas como armadura e ancoragem**. Boletim Técnico do Departamento de engenharia de construção civil, TT/PCC/22. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

- [9] MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia e projeto de revestimento cerâmico de fachadas de edifícios.** Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/246. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.
- [10] CAMPANTE, E. F.; BAIA, L. L. M. **Projeto e execução de revestimento cerâmico.** 2. ed. O Nome da Rosa. São Paulo, 2008.
- [11] PICCHI, F.A. **Sistemas da qualidade: uso em empresas de construção de edifícios.** Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.
- [12] CRUZ, D. D da. **Coordenação e Compatibilização de Projetos em Edifícios Habitacionais.** Monografia (Graduação), Universidade do Planalto Catarinense. Lages, 2015.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.
- [14] BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. **Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil.** Ambiente Construído, v. 21, n. 4, p. 23–43, 2021.
- [15] BAUER, E.; DE SOUZA, J. S.; PIAZZAROLLO, C. B. **Application of the degradation measurement method in the study of facade service life.** Building Pathology and Rehabilitation, v. 12, p. 105–119, 2020.
- [16] BRITO, J. **Desenvolvimento de um Sistema de gestão de obras de arte em betão.** Tese de doutorado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1992.
- [17] SILVESTRE, J. D. **Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes.** Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2005.
- [18] SANTOS, M. J. B. O. **Catálogo de patologias em fachadas de edifícios residenciais de Brasília.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil, 2017. 212p.

ÁREA TEMÁTICA: Desempenho e Durabilidade

MONITORAMENTO DO DESEMPENHO POR MEIO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA DOS COMPONENTES: UM MODELO INTEGRADO AO BIM

FRAZÃO, Keila Nissahe Takagi¹; ZANONI, Vanda Alice Garcia²

¹ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, keilatakagi@gmail.com, 0000-0003-0103-4758

² Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, vandazanoni@unb.br, 0000-0003-2629-4214

RESUMO

A busca por um processo inteligente e contínuo de monitoramento do desempenho da edificação vinculado à uma gestão de manutenção é a motivação para o estudo. Como a vida útil não pode ser estimada com precisão, é preciso estabelecer critérios para realizar uma estimativa suficientemente confiável, usando o conhecimento disponível relativo à vida útil de referência de cada componente a ser especificado para a construção. A pesquisa foi desenvolvida para adaptar e aplicar um método presente na ISO 15686, para estimar a vida útil de referência dos componentes, e com os dados, obter uma gestão de manutenção preventiva ligada ao modelo do projeto que foi gerado por meio da tecnologia BIM (*Building Information Modeling*). Portanto, o estudo visa apresentar soluções para procedimentos voltados para a gestão da manutenção, com foco no desempenho e durabilidade dos componentes construtivos e o uso do BIM, considerando a gestão de manutenção ao longo de toda a vida útil da edificação. Em síntese, a metodologia BIM mostrou a viabilidade de gerenciar dados inseridos desde a fase de projeto até a fase de uso e operação da edificação. Para o monitoramento do desempenho da vida útil com vistas às manutenções preventivas, o Método Fatorial (ISO 15686) para estimar a Vida Útil de Referência dos componentes foi capaz de estabelecer índices e, assim, fornecer informações para subsidiar a conservação da edificação com base no desempenho dos componentes dos sistemas.

Palavras-chave: vida útil estimada; desempenho; BIM; componentes.

ABSTRACT

The search for an intelligent and continuous process of monitoring the performance of a building, linked to a maintenance management, is the motivation for this study. As the life of a building cannot be accurately calculated, it is necessary to establish some criterias to be possible to make a reliable estimate, using the knowledge available about the life cycle of each construction component utilized. The research was developed to adapt and apply a method present in ISO 15686, to estimate the reference life cycle of the components and, with these data, obtain a preventive management of the project model that was generated through BIM technology (Building Information Modeling). Therefore, the study aims to present solutions for maintenance, focusing on the performance and durability of the construction components and the usage of BIM, considering the maintenance management of the entire life cycle of the building. In summary, the BIM methodology showed the feasibility of managing data entered from the use and operation phase of the building. For monitoring the performance of the life cycle with a view to preventive maintenance, the Factorial Method (ISO 15686) to estimate the Reference Life Cycle of the components was able to establish indices and, thus, provide information to support the conservation of the building, based on the performance of the components of the systems.

Keywords: estimated life cycle; performance; BIM; components.

1. INTRODUÇÃO

A fase de operação de uma edificação é tão significativa no ciclo de produção da construção civil quanto os processos de concepção e construção. A materialização das edificações se dá pelos seus diversos sistemas construtivos, compostos por elementos e componentes, os quais influenciam a qualidade construtiva e a durabilidade da edificação. Entende-se que os componentes construtivos possuem características que impactam no desempenho da edificação e podem ser monitorados na fase de uso da edificação.

Para um melhor entendimento dos conceitos referentes ao desempenho de uma construção, a NBR 15575 [1] define o sistema construtivo como a maior parte funcional do edifício, isto é, refere-se ao conjunto de elementos e componentes destinados a cumprir um macro função. Por sua vez, define elemento como parte de um sistema com funções específicas, geralmente composto por um conjunto de componentes. Neste caso, o componente é a unidade integrante de determinado sistema da edificação, com forma definida e destinada a atender funções específicas, conforme Figura 1. O componente não se confunde com o material, visto que essa denominação é o termo genérico que designa a matéria básica utilizada para a fabricação dos produtos ou componentes da construção civil. Posto isso, destaca-se que o desempenho é uma métrica aferida no componente, elemento ou sistema, pois refere-se ao comportamento em uso baseado nos requisitos de função.

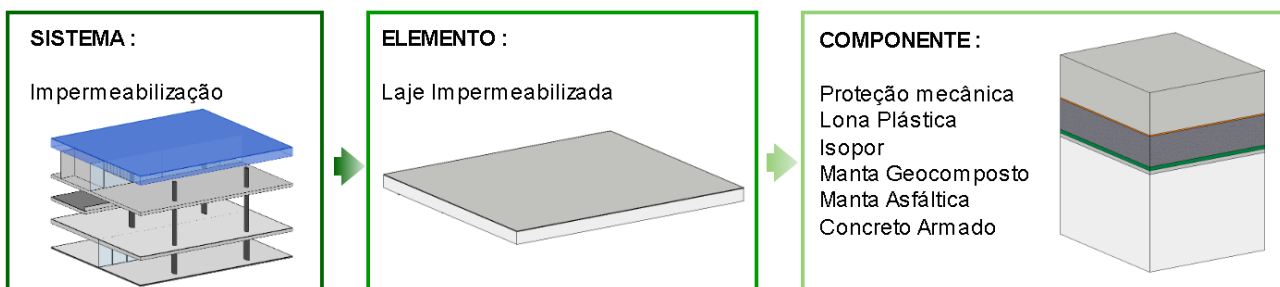


Figura 1 - Esquema exemplificando a diferença entre Sistema, Elemento e Componente.

A motivação deste estudo são as formas de monitoramento do desempenho de uma edificação com vistas à gestão da manutenção predial. Diante dos diversos conceitos que abrangem o campo de manutenção predial, busca-se tratar dos assuntos que servem de embasamento para compreender a degradação dos sistemas da edificação ao longo do tempo. Silva et al. [2] relatam que a degradação dos edifícios é um fenômeno complexo que depende de muitos fatores e afeta severamente o patrimônio construído. A degradação começa assim que as construções são colocadas em uso, devido ao envelhecimento e ao efeito de agentes ambientais. Tais condições são diretamente afetadas por uma cultura ineficiente de manutenção do edifício, de certa forma predominante em muitos países em que ações de reparo são realizadas somente após a ocorrência de defeitos, o que leva à perda prematura de desempenho dos edifícios.

A norma ISO 15686 [3], ao apresentar o seu método de previsão de vida útil estimada, cita que é necessário prever como as incertezas da estimativa serão levadas em conta. Menciona ainda a questão da subjetividade na estimativa de vida útil dos componentes, frente à possibilidade de não se ter uma confiabilidade total na previsão. Devido ao número de variáveis envolvidas e às incertezas em cada uma delas, e às próprias variabilidades dos edifícios, serviços de meio ambiente, obra local, e futuras atividades de manutenção, não é possível estimar a vida útil de um edifício ou seus componentes precisamente, mas acredita-se que é possível estabelecer indicadores para a gestão da manutenção.

Portanto, o objetivo deste estudo é apresentar um modelo de previsão da vida útil estimada de componentes construtivos a fim de estabelecer uma gestão de manutenção preventiva inteligente e continuada, por meio da Modelagem de Informação da Construção – BIM. Nesse contexto, vida útil, durabilidade, desempenho e manutenção são os conceitos que levam à um entendimento melhor dos dados, ao analisar e escolher um método de estimativa de vida útil de componentes construtivos. Busca-se avaliar o potencial de interoperabilidade de dados entre o modelo BIM e um sistema de gestão de manutenção.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Souza [4] relata que houve um grande progresso nos estudos realizados sobre a durabilidade, levando ao aparecimento de diversas metodologias de previsão de vida útil e, conseqüentemente, à concepção de documentos de normalização, tais como o regulamento *Architectural Institute of Japan*, o código de construção *New Zealand Building Code (NZBC)*, a norma britânica *BS 7543 Guide to durability of building elements, products and components*, o regulamento canadense *CSA S478-95 Guideline on durability in buildings* e o conjunto de normas ISO 15686. Hovde [5] esclarece que a vida útil depende de vários fatores que também fazem da previsão completa da vida útil uma atividade interdisciplinar.

Hovde [5] apresenta três níveis de métodos de previsão de vida útil - determinística, probabilística e de engenharia -, mostrados na Figura 2. Essas abordagens fornecem a base para o desenvolvimento de métodos de previsão de vida útil de várias complexidades e com diferentes requisitos de aplicabilidade e necessidades de informações de dados de entrada para os modelos.

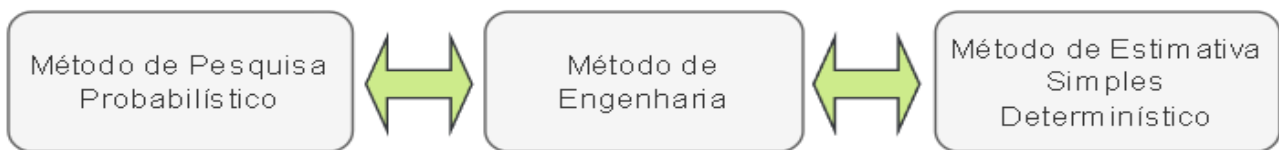


Figura 2 - Diferentes tipos de métodos de previsão de vida útil. Fonte: Adaptado de Hovde [5].

A metodologia chamada de Método Fatorial, encontrada na ISO 15686-2:2012 [3] para estimar a vida útil, se baseia numa função de desempenho versus o tempo, validada para uma determinada condição ambiental. Ou seja, é um processo interativo, com tomadas de decisão durante as etapas da concepção e construção. O Método Fatorial multiplica a Vida Útil de Referência (VUR) por fatores que levam em conta as condições específicas de utilização. A ISO 15686-2: 2008 [3], diz que o Método Fatorial não fornece uma garantia de uma vida útil, ele apenas dá uma estimativa empírica com base nas informações que são fornecidas. A fórmula para estimar a vida útil de determinado elemento da construção e os fatores a serem considerados deste método, estão presentes no Quadro 1.

| VUE = VUR x fA x fB x fC x fD x fE x fF x fG | | |
|--|--|--|
| VUE | Vida Útil Estimada | |
| VUR | Vida Útil de Referência (obtida pelos fabricantes) | |
| fA / fB | Fatores modificadores | |
| FATORES | DEFINIÇÃO | SIGNIFICADO |
| Fator A | Qualidade do material ou componente | Condições em que são fornecidos à obra Segundo as especificações do projetista. |
| Fator B | Nível de qualidade do projeto | Este fator tem a ver com a adequação da escolha de uma solução construtiva específica, das medidas de proteção previstas, etc. |
| Fator C | Nível de qualidade da execução | A avaliação deste fator deverá refletir o grau de confiança da mão de obra, mas também a existência ou não de uma fiscalização rigorosa. |
| Fator D | Características do ambiente interior | Para quantificação deverão ser pelos agentes de degradação. |
| Fator E | Características do ambiente exterior | Para quantificação deverá ser pelos agentes de degradação externa onde a edificação está situada. |
| Fator F | Características do uso | Reflete o efeito do uso na degradação do material ou componente. É geralmente importante a distinção entre uso comum e uso privado. |
| Fator G | Nível de manutenção | Fator relativo à manutenção que deve ser dada pela probabilidade da existência de uma manutenção adequada. |

Quadro 1 - Fórmula para VUE e fatores considerados no Método Fatorial. Fonte: ISO 15686-2 [3].

A vantagem do Método Fatorial é que permite considerar tudo o que é possível contribuir com as variações de vida útil a serem examinadas ao mesmo tempo, além da importância relativa de cada um desses fatores considerados [6]. Para compreender quais fases dentro do ciclo de vida da edificação os fatores serão preenchidos, segue a Figura 3 que demonstra a separação aplicada nesse estudo.

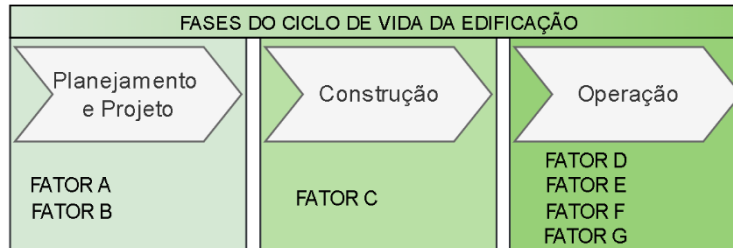


Figura 3 – Identificação dos fatores por cada fase do ciclo de vida da edificação.

3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Para este estudo, foi realizada a escolha do Método Fatorial como um Método Determinístico para a previsão de vida útil de componentes. Este método é baseado em sete fatores e, para cada um, foi determinado em valor numérico. Para isso, foi necessário definir diretrizes que direcionem a escolha desses valores, visando a melhor eficácia do método. A Figura 4 mostra as etapas da metodologia proposta neste estudo, que contempla as seguintes etapas: uso do método de Vida Útil Estimada dos componentes, modelagem do edifício com uso da tecnologia BIM, inserção dos dados no modelo, extração e acompanhamento da Vida Útil Estimada - VUE dos componentes durante a gestão de manutenção.

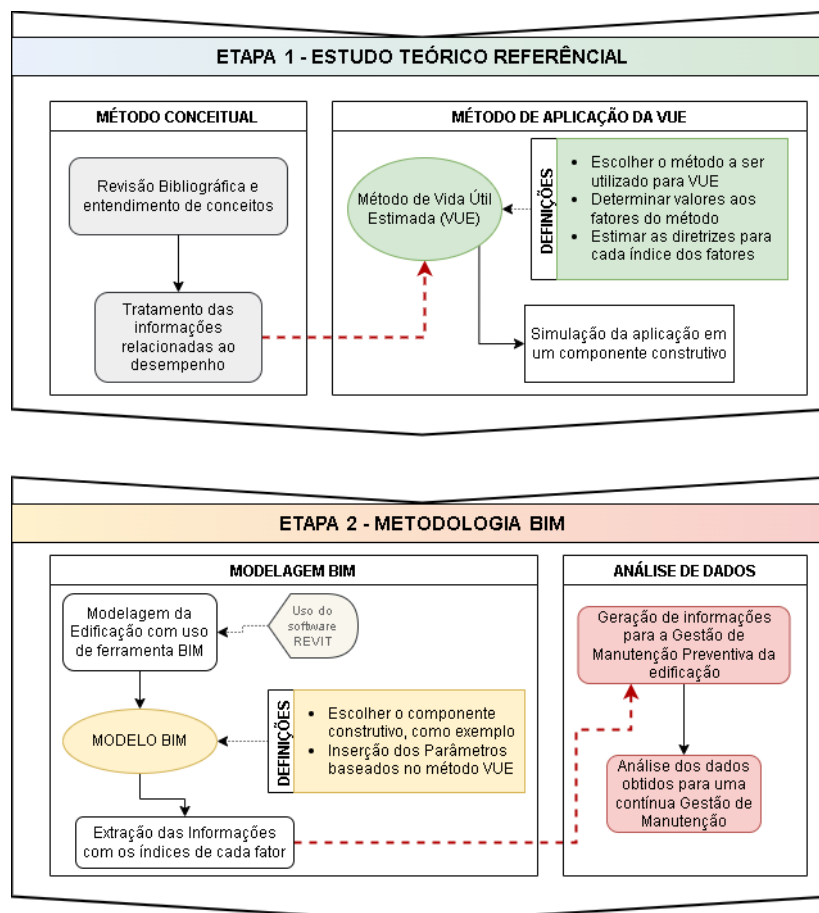


Figura 4 - Fluxograma da metodologia adotada neste estudo.

Para determinar o coeficiente de influência de cada fator, foram estudados e definidos os índices 0,8; 0,9 e 1,0; e suas respectivas diretrizes. A escolha de qual índice a ser usado para cada fator, passa a ser de responsabilidade do profissional especializado. No Quadro 2, há as definições criadas para cada fator e para cada índice.

| | 0,8 (BAIXA) | 0,9 (MÉDIA) | 1,0 (ALTA) | DESCRIÇÃO |
|--|--|---|--|--|
| FATOR A: QUALIDADE DO MATERIAL OU COMPONENTE | Baixa qualidade. Fabricação sem certificação ou garantia, com valor baixo no mercado, sem indicação do mercado. | Média qualidade. Fabricação com certificação ou garantia, com valor médio no mercado. | Alta qualidade. Fabricação certificada pela NBR 15.575, com valor alto no mercado. | Condições dos componentes que são fornecidos à obra segundo as especificações do fabricante. |
| FATOR B: NÍVEL DE QUALIDADE DO PROJETO | Baixa qualidade. Com o intuito de atender as questões físicas, sem grande preocupação de manutenção e durabilidade. | Média qualidade. Solução adotada para atender em médio prazo a função do componente ou sistema. | Alta qualidade. Adoção de solução de aplicação e instalação que tenha fácil manutenção e sistema de garantir a durabilidade. | Este fator tem a ver com a adequação da escolha de uma solução construtiva específica das medidas de proteção previstas. |
| FATOR C: NÍVEL DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO | Baixa qualidade. Mão de obra precária, sem fiscalização, com profissionais sem capacitação comprovada. | Média qualidade. Mão de obra intermediária, com comprovação de capacitação e com fiscalização não especializada. | Alta qualidade. Mão de obra profissional, com certificados de capacitação e fiscalização terceirizada por profissionais da área. | A avaliação deste fator deverá refletir o grau de confiança da mão de obra, mas também a existência ou não de fiscalização rigorosa. |
| FATOR D: CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE INTERIOR | Baixa qualidade. Local de instalação com contato de agentes biológicos e físicos, que afetam a durabilidade. | Média qualidade. Local de instalação com pouco contato ou com tratamento parcial para o contato com agentes biológicos ou físicos. | Alta qualidade. Local de instalação com tratamento adequado para não ter contato com agentes biológicos ou físicos que afetem a durabilidade. | Para quantificação deverá ser pelos agentes de degradação interna dos ambientes. |
| FATOR E: CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE EXTERNO | Baixa qualidade. Local de instalação com contato de agentes externos biológicos e físicos ao local, que afetam a durabilidade. | Média qualidade. Local de instalação com pouco contato ou com tratamento parcial para o contato com agentes externos biológicos ou físicos. | Alta qualidade. Local de instalação com tratamento adequado para não ter contato com agentes externos biológicos ou físicos que afetem a durabilidade. | Para quantificação deverá ser pelos agentes de degradação externa onde a edificação está situada. |
| FATOR F: CARACTERÍSTICAS DO USO | Baixa qualidade. Material ou componente aplicado em local para uso comum, com alto índice de usuários, sem controle de acesso. | Média qualidade. Material ou componente para uso intermediário, aplicado em local com uso comum, mas com restrição de acesso. | Alta qualidade. Material ou componente para uso restrito, aplicado em local para uso privado. | Reflete o efeito do uso na degradação do material ou componente. É geralmente importante a distinção entre uso comum e uso privado. |
| FATOR G: NÍVEL DE MANUTENÇÃO | Baixa qualidade. Local aplicado onde dificilmente será possível a realização de manutenção, devido fatores de acesso. | Média qualidade. Local aplicado onde há possibilidade de realizar manutenções, porém com a necessidade de intervenção de outros elementos próximos. | Alta qualidade. Local aplicado onde há facilidade de realização de manutenção, com planejamento de recursos para uma manutenção adequada. | Fator relativo à manutenção que deve ser dada pela probabilidade da existência de uma manutenção adequada. |

Quadro 2 - Definição de Índices para cada Fator e suas respectivas diretrizes para preenchimento da fórmula da VUE.

4. RESULTADOS

Para avaliar a eficácia do modelo proposto para o cálculo da Vida Útil Estimada dos componentes construtivos, foi escolhido um edifício genérico para a aplicação do Método Fatorial nas três fases do ciclo de vida da edificação, de modo que todos os fatores possuam 3 opções de valores e assim, assegurar a representatividade de todo o processo do método.

Ao considerar o modelo BIM como um banco de dados, pode-se dizer que em consequência disto, o modelo necessita de gestão para estas informações, e, portanto, é também um sistema de gestão de várias informações que estão integradas no modelo [7]. Nesse sentido, com base na importância das informações necessárias para a fase de manutenção da edificação, o edifício do estudo foi modelado com o intuito de gerar informações e posteriormente permitir que tenha uma interoperabilidade com outros sistemas de gestão e, por fim, obter um ambiente comum de dados para fins de gestão de manutenção. Na Figura 5 mostra o edifício modelado com uso da ferramenta REVIT.

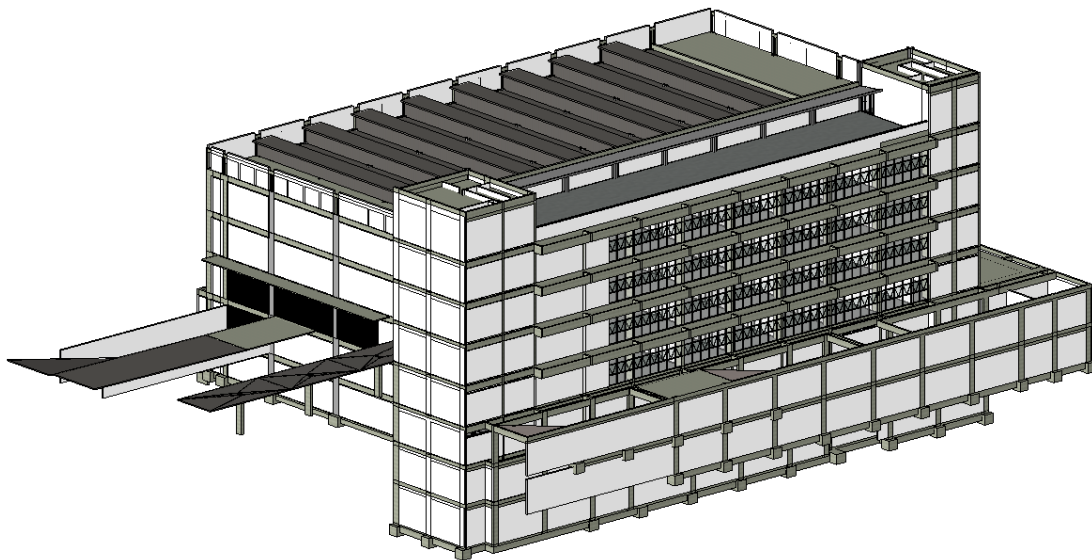


Figura 5 - Edifício de estudo modelado no software REVIT.

Baseado na necessidade de uma modelagem em nível de desenvolvimento mais detalhado, para obtenção de futura gestão de manutenção, foi necessário para este estudo, o recorte num dos sistemas construtivos. Sendo assim, o sistema escolhido para aplicação do método foi o sistema de impermeabilização de uma das lajes de cobertura. A modelagem de cada componente da cobertura permitiu que fossem inseridos, nas suas propriedades, os parâmetros para preenchimento da fórmula estabelecida no Método Fatorial. A Figura 6 mostra o exemplo genérico dos componentes em um sistema de impermeabilização que é apresentado na Norma de Desempenho NBR 15573-3:2013 [1] e ao lado os componentes que foram usados no modelo para o mesmo sistema.

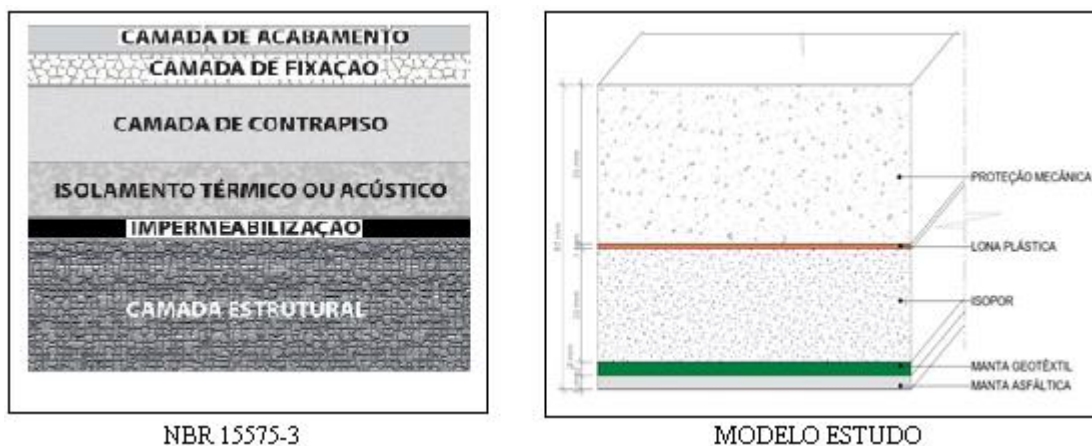


Figura 6 - Representações de Sistema de Impermeabilização, uma retirada da NBR 15575 e outra do edifício de estudo modelado.

Após a modelagem de cada camada de piso, foi dado início à criação dos parâmetros no software REVIT para permitir que sejam inseridos os valores de cada fator que compõem a fórmula de cálculo de Vida Útil Estimada dos componentes,

de acordo com o Método Fatorial. Os dados dos sete fatores foram preenchidos, baseado nas condições que levaram à escolha dos índices. Posteriormente, conforme a Figura 7, os fatores foram inseridos no modelo BIM por meio de parâmetros de instância.

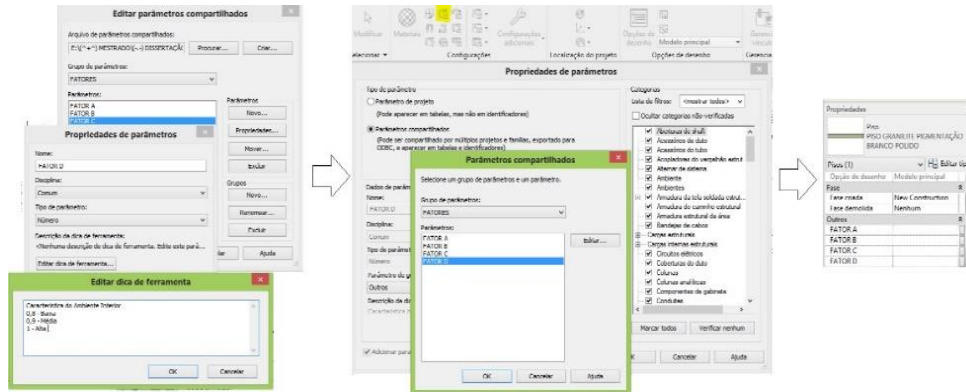
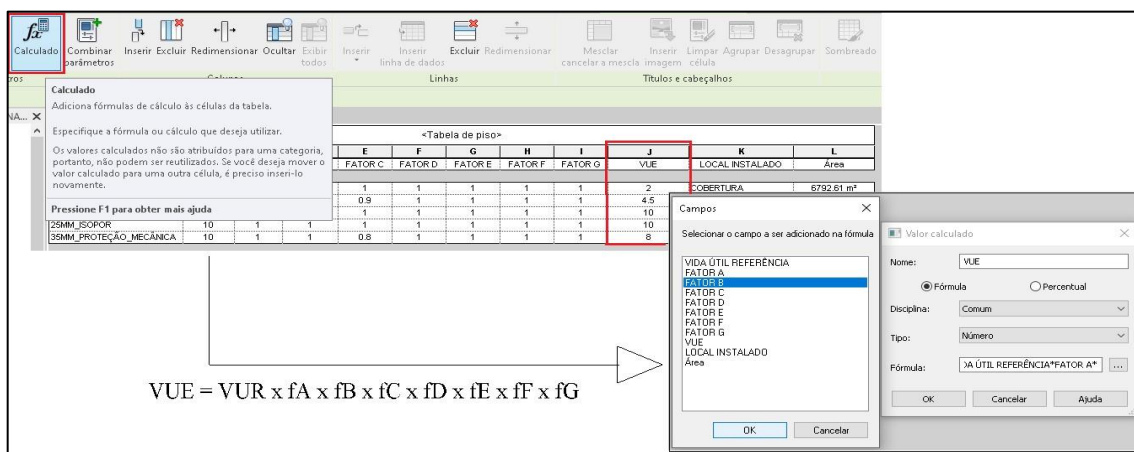


Figura 7 - Criação e demonstração de Parâmetros Compartilhados em todos os elementos do modelo.

Como conhecimento de importância, os valores aplicados para cada fator de cada componente, foi baseado em suposição, pois não houve, para esse estudo de caso, a busca de registros da fase de projeto e da fase de construção do edifício, que preenchem os fatores A, B e C, respectivamente. Por isso, vale ressaltar que esse método proposto, recomenda-se que se use desde a fase de concepção de projeto, durante a construção e após a entrega. Assim, é possível obter todos os dados necessários e confiáveis para o preenchimento de todos os fatores. E posteriormente, realizar a interoperabilidade entre um sistema de gestão, para que os dados sejam atualizados ao longo do ciclo de vida da edificação.

Com a criação de cada um dos sete fatores da fórmula e seus respectivos preenchimentos, foi calculado a VUE de cada componente do sistema de impermeabilização de uma das lajes de cobertura do edifício modelado para o estudo. Com esses valores foi criada a tabela resumo para a exportação dos dados, vista na Figura 8, que é a base proposta para uma futura abordagem para a gestão de manutenção.



VUE = VUR x fA x fB x fC x fD x fE x fF x fG

| <Tabela de piso> | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|-----------------|------------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| Tipo | VUR | FATOR A | FATOR B | FATOR C | FATOR D | FATOR E | FATOR F | FATOR G | VUE | LOCAL INSTALADO | Área |
| 1MM_LONA_PLÁSTICA | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | COBERTURA | 6792.61 m² |
| 3MM_MANTA_ASFÁLTICA | 5 | 1 | 1 | 0.9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4.5 | COBERTURA | 6792.61 m² |
| 3MM_MANTA_GEOCOMPOSTO | 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 | COBERTURA | 6792.61 m² |
| 25MM_ISOPOR | 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 | COBERTURA | 6792.61 m² |
| 35MM_PROTEÇÃO_MECÂNICA | 10 | 1 | 1 | 0.8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | COBERTURA | 6792.61 m² |

Figura 8 - Tabela com os índices aplicados em cada fator e o valor da VUE de cada componente.

5. DISCUSSÕES

Com a determinação dos critérios para cada fator é possível diminuir o nível de subjetividade para cada profissional, e quanto mais profissionais envolvidos para estabelecer cada fator, maior a confiabilidade. Os índices determinados para cada fator, variando entre três valores (0,8, 0,9 e 1,0), permitem apenas a permanência ou diminuição do valor da vida útil de referência – VUR, que essa, geralmente é provida pelos fabricantes ou prestadores de serviços. No entanto, ao aplicar o método, verificou-se que o modelo precisa ser validado periodicamente, por meio de vistorias que servem para confirmar as condições reais dos componentes. Além de ajustar o modelo, é preciso verificar se as informações fornecidas pelo fabricante quanto à vida útil de referência correspondem ao comportamento medido, ou seja, o prazo não passará da VUR que foi estabelecido pelo fabricante, mesmo que as condições do componente estejam favoráveis.

Para utilizar todos os dados presentes no modelo, com o intuito de criar uma gestão de manutenção, é necessário ter uma conectividade genérica para acessar o banco de dados ligado ao modelo, a um gerenciador de manutenção. Para isso, é necessário criar um *database link* homogêneo entre bancos de dados. Havendo a possibilidade de ter uma espécie de ponte de leitura entre o plano de gestão e o modelo BIM. Dessa maneira, entende-se o alcance que a metodologia BIM pode proporcionar em benefício ao ciclo de vida da edificação de cada componente, é viável.

Para dar seguimento às futuras pesquisas, foi exportada a tabela do REVIT com os dados da VUE de cada componente, através de uma aplicação denominada DB Link, apresentado na Figura 9. Posteriormente, para a leitura do arquivo exportado, foi escolhido o software Access da Microsoft que tem uma interface objetiva e de fácil manipulação. Logo, foi possível ler e acrescentar informações ao banco de dados, para posteriormente criar a gestão de manutenção de cada componente separado.

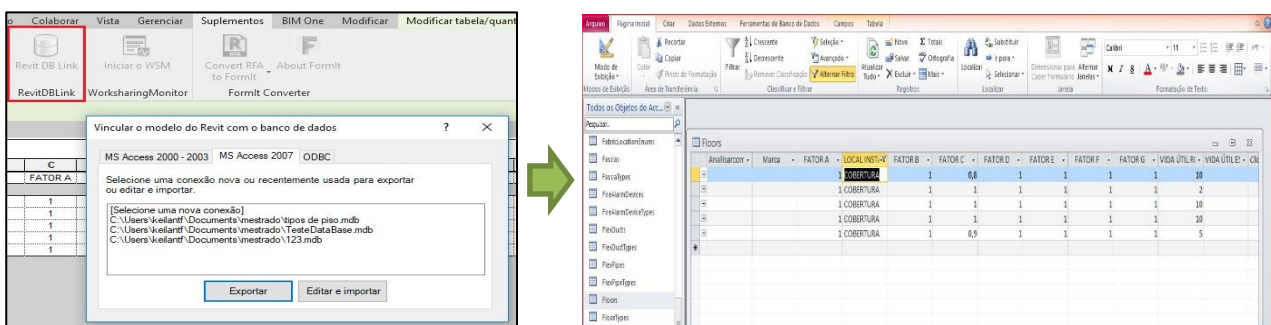


Figura 9 - Uso do DB Link no Revit, para exportar o banco de dados do modelo para Leitura no Access.

5. CONCLUSÕES

Em decorrência de números cada vez mais significativos de degradação precoce na construção civil, ligados às ocorrências de deteriorações inesperadas em edificações, surge a necessidade de refletir sobre os métodos de gerenciar as manutenções. Uma das contribuições ao conhecimento foi apresentar uma adaptação de um método existente, para obter ao final, a gestão de manutenção preventiva dos componentes construtivos. Por meio da análise de conceitos e métodos de previsão, sendo possível adaptar um método e implantá-lo na metodologia BIM, para que a gestão desses componentes de um sistema construtivo seja viável.

Em síntese, a metodologia BIM mostrou a viabilidade de gerenciar dados inseridos desde a fase de projeto até a fase de uso e operação da edificação. Para o monitoramento do desempenho da vida útil com vistas às manutenções preventivas, o Método Fatorial para estimar a Vida Útil de Referência dos componentes foi capaz de estabelecer índices e, assim, fornecer informações para subsidiar a conservação da edificação com base no desempenho dos componentes dos sistemas.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: **Edificações Habitacionais – Desempenho Partes 1 e 3**. Rio de Janeiro, 2013.
- [2] SILVA, A.; BRITO, J; GASPAR, P. L. (2016). **Methodologies for service Life Prediction of Buildings**. Springer International Publishing Switzerland, 56-60.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 15686: **Buildings and constructed assets – Service life planning. Partes 2 e 8**. Rio de Janeiro, 2008.
- [4] SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas – efeito dos agentes de degradação e dos elementos Constituintes**. Dissertação de Mestrado Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. 2016.
- [5] HOVDE, P. J. **The Factor Method for service life prediction from theoretical evaluation to practical implementation**. Norwegian University of Science and Technology, Department of Building and Construction Engineering. Norway, 2002.
- [6] JERNBERG, P. **SIS HB 50 User’s guide to ISSO 15686-1: Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles**. SIS Forlag AB, 2005.
- [7] WONG, K. D.; FAN, Q. (2013). **Building information modelling (BIM) for sustainable building design**. Facilities. v. 31, n. 3/4, p. 138-157.

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

PRINCIPAIS BENEFÍCIOS DA MODELAGEM E DESENVOLVIMENTO EM BIM DO PROJETO DE IMPERMEABILIZAÇÃO

SILVA, Airã C. da¹; MENEZES, Maressa²

¹ Impersolutions, Projetos, Pesquisa e Consultoria Ltda, Mogi das Cruzes - SP, Brasil, airacarvalho@hotmail.com, nº ORCID 0000-0001-7831-944X

² Impersolutions, Projetos, Pesquisa e Consultoria Ltda, Mogi das Cruzes - SP, Brasil, maressa.menezes@impersolutions.com.br, nº ORCID 0000-0003-2756-0043

RESUMO

O desenvolvimento do projeto de impermeabilização é de grande relevância para a correta especificação e bom desempenho dos sistemas, bem como para garantir estanqueidade da edificação. Segundo a ABNT – NBR 9575 – Impermeabilização, Seleção e Projeto, o projeto de impermeabilização é o conjunto de informações gráficas e descritivas que definem as características técnicas de todos os sistemas de impermeabilização empregados em um empreendimento. Durante o desenvolvimento do projeto, estes sistemas devem ser compatibilizados com outras disciplinas de interface nas respectivas fases de Anteprojeto; Projeto Pré-executivo e Projeto Executivo. A tecnologia BIM (*Building Information Modeling*), além de outros benefícios, tem se mostrado um processo eficiente para compatibilização de projetos e planejamento da obra. Para eficiência do processo, é importante que toda a equipe e profissionais envolvidos no projeto elaborem o modelo de suas respectivas disciplinas. O projeto de impermeabilização, embora seja considerado um projeto complementar, tem grande impacto e interferência direta em disciplinas principais como arquitetura, hidráulica e estrutura. Com isso o objetivo desta pesquisa, através de estudo de casos, é de apresentar as informações e benefícios obtidos com a modelagem em BIM de um projeto de impermeabilização frente a um projeto desenvolvido em metodologia 2D. Com os resultados obtidos, fica comprovado vários benefícios no processo de desenvolvimento de projeto e compatibilização, dentre os quais podemos destacar melhor visualização das interferências com relação às cotas, caimentos e viradas dos sistemas de impermeabilização, além de melhor precisão no levantamento de áreas impermeabilizadas e quantitativos de materiais para composição dos sistemas.

Palavras-chave: impermeabilização; projeto; BIM; compatibilização.

ABSTRACT

The development of a waterproofing project is of great importance for the correct specification and good performance of the waterproofing systems, as well as to ensure the watertightness of the building. According to ABNT - NBR 9575 - Waterproofing, Selection and Design [1], the waterproofing project is the set of graphic and descriptive information that defines the technical characteristics of all waterproofing systems used in a project. During project development, these systems must be made compatible with other interface disciplines in the respective phases of Preliminary Design, Pre-Executive Design and Executive Design. The BIM (*Building Information Modeling*) methodology, besides other benefits, has proven to be an efficient process for project compatibility and construction planning. For the efficiency of the process, it is important that the entire team and professionals involved in the project prepare a model of their respective disciplines. The waterproofing project, although it is considered a complementary project, has a great impact and direct interference in the main disciplines such as architecture, hydraulics and structure. The objective of this research, through case studies, is to present the information and benefits obtained with BIM modeling of a waterproofing project compared to a project developed using 2D methodology. With the results obtained, several benefits are proven in the process of project development and compatibilization, among which we can highlight a better visualization of interferences with respect to levels, inclinations and finishing of the waterproofing systems, as well as better accuracy in surveying waterproofed areas and quantitative materials for system composition.

Keywords: waterproofing; design; BIM; compatibility.

1. OBJETIVO E METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo verificar os principais benefícios do desenvolvimento de projetos de impermeabilização em BIM (Modelagem da Informação) se comparado ao desenvolvimento tradicional em 2D.

Para a realização do estudo, tomou-se como base dois projetos de empreendimentos residenciais localizados na cidade de São Paulo/SP, com as características conforme tabela abaixo.

Tabela 1 – Características dos empreendimentos.

| Projeto | Método de Desenvolvimento | Padrão | Tipo | Cidade | Estado |
|-----------|---------------------------|--------|-------------|-----------|-----------|
| Projeto 1 | BIM | Alto | Residencial | São Paulo | São Paulo |
| Projeto 2 | 2D | Alto | Residencial | São Paulo | São Paulo |

Os projetos foram iniciados na fase de ESTUDO PRELIMINAR e desenvolvidos até a fase de PROJETO EXECUTIVO.

Para este estudo, analisou-se o tempo de execução das fases, facilidade em analisar as principais interferências durante a compatibilização com as demais disciplinas e ainda precisão e rapidez no cálculo dos quantitativos de projeto.

2. INTRODUÇÃO

O projeto de impermeabilização é fundamental para o dimensionamento correto dos sistemas bem como para o atendimento da vida útil de projeto necessária em conjunto com os demais sistemas da edificação. Embora não seja o único, é um dos principais fatores críticos de sucesso para atingir estanqueidade e durabilidade das edificações.

A elaboração de um projeto é um processo complexo que, além dos projetos em si, envolve também diversas interfaces com outras especialidades técnicas [2]. O projeto de impermeabilização, assim como os demais, também deve ser desenvolvido e compatibilizado simultaneamente com as disciplinas de interface de forma a minimizar ou até mesmo eliminar problemas de compatibilização, divergência de custo (projeto/obra) e transtornos durante a execução.

Atualmente, no setor de arquitetura, engenharia, construção e operações (AECO), a compatibilização de projetos, ou seja, análise dos inúmeros projetos que compõem um empreendimento, é feita a partir de desenhos 2D. Com o uso do BIM, a compatibilização acontece no modelo de construção. Nessa metodologia de trabalho, em que se analisa uma construção virtual, os possíveis conflitos de projeto são facilmente evidenciados, reduzidos e evitados [3].

Jongsung et al. [6] observaram que a grande maioria dos conflitos de projeto e retrabalhos no setor de AECO se dão por falhas na fase de concepção e por mudanças repentinas nos projetos antes ou durante a fase de execução, e que esses conflitos são comuns pois o desenvolvimento de um empreendimento é composto por participantes de diferentes disciplinas.

O BIM, ou Modelagem da Informação da Construção, de acordo com Charles et al. [4], é “uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção.” Estes modelos de construção são bancos de dados constituídos por objetos paramétricos e com informações dos setores de AECO [5].

Julio Cesar e Silvio [7] argumentam que, devido às mudanças de mercado decorrentes de transformações econômicas e políticas que atingem, principalmente, o setor de construção civil, as empresas têm buscado elevar seu nível de competitividade melhorando a qualidade e desempenho de seus produtos.

Segundo Formoso [8] essa busca por melhorias na qualidade e desempenho dos produtos provoca “iniciativas de reestruturação empresarial e de modernização do processo produtivo por algumas empresas do setor.”

O Brasil demonstrou que está em busca de modernizar o setor industrial. Com a publicação pelo governo federal do decreto 10306/2020, que regulamenta a utilização da metodologia BIM pelos órgãos públicos, o país pavimentou o caminho para a adoção do setor às novas tecnologias [9].

O governo publicou anteriormente o decreto 9983/2019 [10], que instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no Brasil, chamada de Estratégia BIM BR, estimulando a adoção do BIM como alternativa aos métodos convencionais de elaboração de projetos.

2.1 Projeto de Impermeabilização

Projeto de impermeabilização é o conjunto de informações gráficas e descritivas que definem as características de todos os sistemas de impermeabilização empregados na obra. Ele deve ser desenvolvido em conjunto e compatibilizado com os projetos das demais disciplinas, em fase de projeto básico e executivo, para que sejam previstas as possíveis interferências de projeto [1].

2.1.1 A importância do desenvolvimento de um Projeto de Impermeabilização

O projeto é desenvolvido com base na análise de todos os projetos e informações do empreendimento. Considerando-se os diversos empreendimentos e obras civis de impermeabilização, o projeto é essencial para o correto dimensionamento dos sistemas de impermeabilização, atendimento de estanqueidade e durabilidade das estruturas. Além disso, é fundamental para:

- Compatibilização dos sistemas com interferências, de forma a minimizar custos e problemas durante execução;
- Previsão de custos e orçamentos da impermeabilização ainda em fase de projeto;
- Estudo de viabilidade técnica e econômica de sistemas;
- Maior durabilidade das estruturas com menor custo da impermeabilização.

2.1.2 Etapas de desenvolvimento do projeto

Segundo a ABNT NBR 9575 [1], o projeto de impermeabilização deve ser desenvolvido nas seguintes fases:

- Estudo Preliminar: Emissão de relatório com descrição das áreas e proposta de sistemas;
- Projeto básico: Definição das áreas a serem impermeabilizadas e validação dos sistemas propostos na fase anterior. Compatibilização e equacionamento das interferências entre outras disciplinas de interface com a impermeabilização. Emissão de planilha inicial de estimativa de áreas, plantas gráficas com marcação das áreas, sistemas, caimentos e estudo de cotas;
- Projeto Executivo: Com conclusão do processo de compatibilização em projeto, áreas e sistemas de impermeabilização validados e concluídos, são emitidas plantas gráficas completas, detalhamentos executivos, memorial descritivo, planilha quantitativa de áreas e sistemas de impermeabilização.

É ideal que o projeto seja desenvolvido nestas etapas simultaneamente aos demais projetos do empreendimento - devendo ser contratado também na fase de Anteprojeto.

2.1.3 Compatibilização do Projeto

Com o objetivo de minimizar ou até mesmo eliminar problemas com interferências durante a execução da impermeabilização, o projeto de impermeabilização deve ser compatibilizado durante o desenvolvimento no mínimo com as disciplinas relacionadas:

- Fundações e Contêncões;
- Arquitetura;
- Estrutura;
- Instalações hidráulicas e elétricas;
- Paisagismo.

Dependendo do projeto, outras informações e/ou disciplinas que tenham interferência com a impermeabilização podem ser solicitadas pelo projetista no momento do desenvolvimento.

3. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para a pesquisa, foi considerado o processo de desenvolvimento de dois projetos executivos de impermeabilização sendo um desenvolvido com Modelo de impermeabilização, denominado neste artigo como PROJETO 1 e o outro denominado PROJETO 2 desenvolvido com metodologia 2D.

3.1 Desenvolvimento do Projeto 1

O projeto 1 consta de um edifício multifamiliar com um pavimento subsolo (garagem), um pavimento térreo, um pavimento PUC (pavimento de uso comum), 19 pavimentos tipo compostos por 6 apartamentos cada e um pavimento ático. O empreendimento é composto por duas torres, totalizando 228 apartamentos.

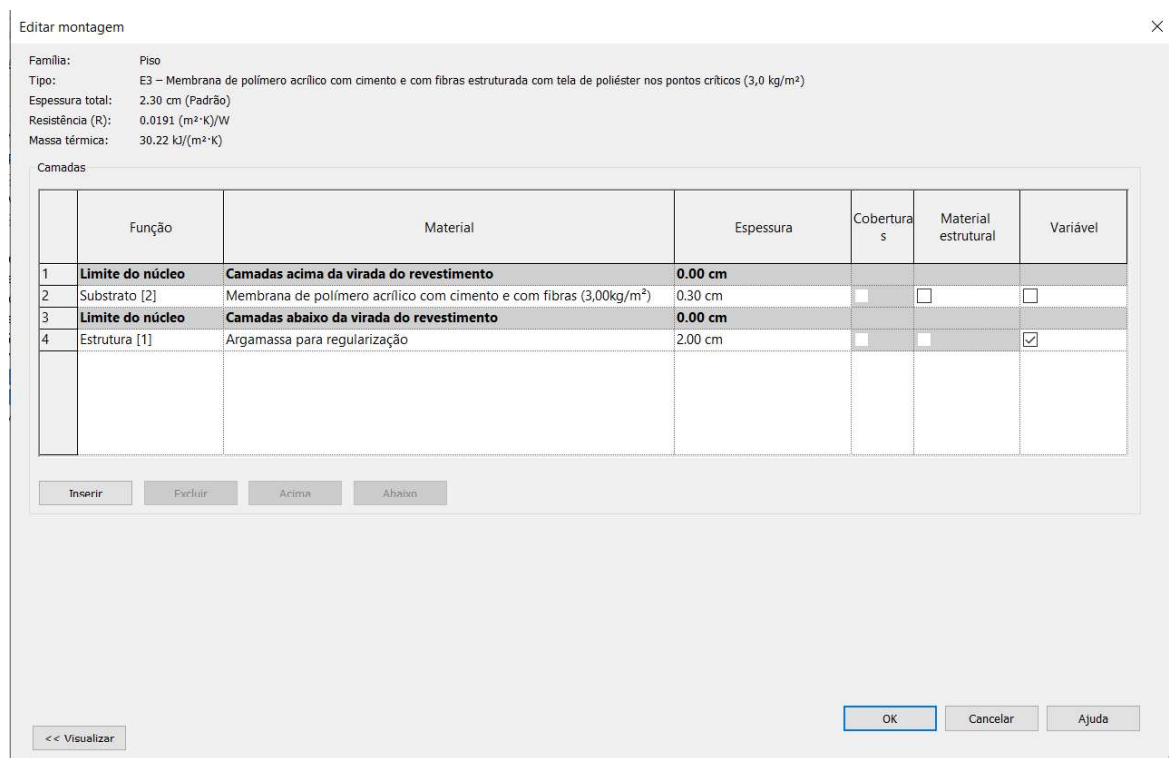
Para o desenvolvimento do projeto de impermeabilização, utilizou-se o software Autodesk® Revit® 2021.

Inicia-se o projeto com um estudo geral de todos os modelos enviados pelas demais disciplinas (arquitetura, estrutura, hidráulica, fundação, paisagismo etc.), análise das solicitações das áreas com relação à umidade, uso e ocupação. Neste estudo são definidos os sistemas de impermeabilização a serem adotados no projeto com base em desempenho, durabilidade, custo e normas vigentes.

Para a modelagem dos sistemas de impermeabilização, utiliza-se as chamadas “famílias de sistemas” do Revit® 2021, mais especificamente as famílias de pisos e paredes.

Tendo em vista a norma ABNT NBR 9575 [1], que define a impermeabilização como um conjunto de operações e técnicas construtivas, composto por uma ou mais camadas, procura-se através das famílias de sistemas criar os sistemas de impermeabilização propriamente ditos.

As Figuras 1 e 2 abaixo mostram um exemplo de sistema de piso e parede, respectivamente.



Editar montagem

Família: Piso
 Tipo: E3 - Membrana de polímero acrílico com cimento e com fibras estruturada com tela de poliéster nos pontos críticos (3,0 kg/m²)
 Espessura total: 2,30 cm (Padrão)
 Resistência (R): 0,0191 (m²·K)/W
 Massa térmica: 30,22 kJ/(m²·K)

Camadas

| | Função | Material | Espessura | Coberturas | Material estrutural | Variável |
|---|------------------|---|-----------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Limite do núcleo | Camadas acima da virada do revestimento | 0,00 cm | | | |
| 2 | Substrato [2] | Membrana de polímero acrílico com cimento e com fibras (3,00kg/m ²) | 0,30 cm | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3 | Limite do núcleo | Camadas abaixo da virada do revestimento | 0,00 cm | | | |
| 4 | Estrutura [1] | Argamassa para regularização | 2,00 cm | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Inserir Excluir Acima Abaixo

<< Visualizar OK Cancelar Ajuda

Figura 1 – Família de sistema de piso.

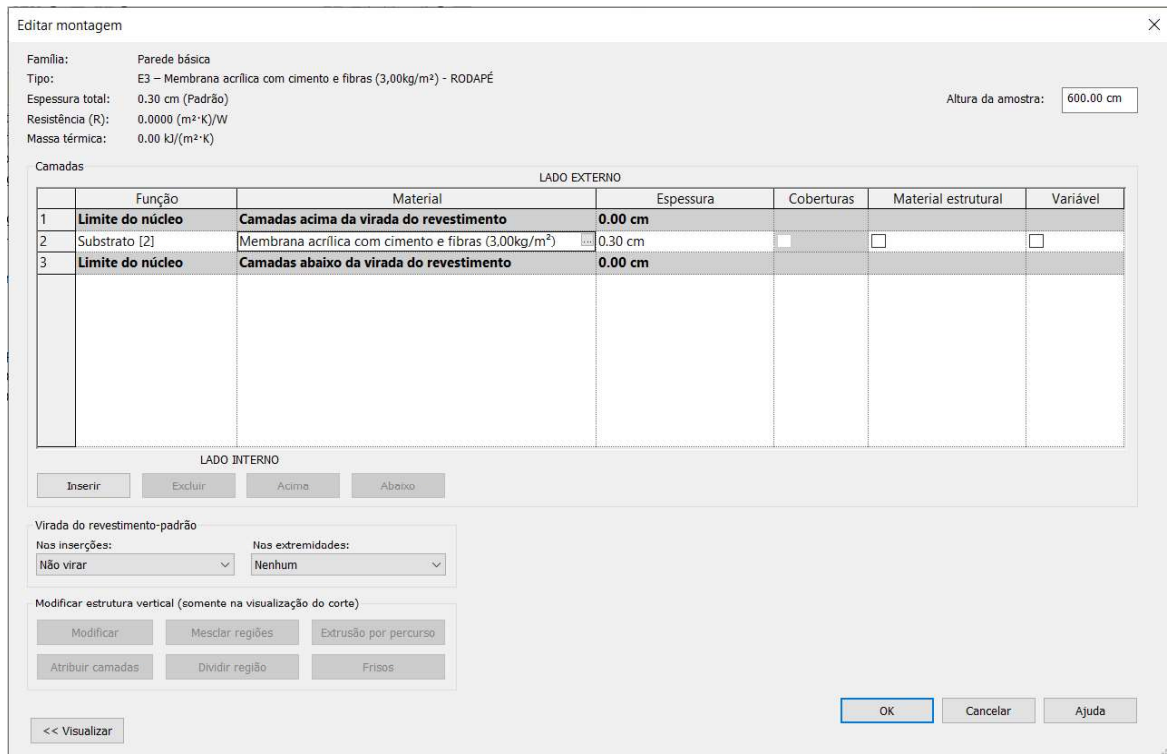


Figura 2 – Família de sistema de parede.

As famílias de sistema de pisos serão utilizadas para a modelagem das impermeabilizações horizontais, ou seja, aquelas que serão usadas nas áreas de pisos, piscinas (lajes), coberturas (lajes), topos de muretas e, até mesmo, partes inferiores (tampas) de lajes de reservatórios. Por sua vez, as famílias de sistema de paredes serão utilizadas para a modelagem dos rodapés, ou impermeabilizações verticais, sendo aplicadas em paredes de banheiros, paredes de piscinas, paredes de platibandas e muretas em geral.

Os cálculos de áreas de sistemas de impermeabilização são feitos de forma automatizada pelo software de modelagem e as características do processo serão discutidas no Item 4.1 deste artigo.

O processo de modelagem é feito para todos os ambientes que serão impermeabilizados no empreendimento, criando-se uma prancha de desenho para cada pavimento. Cada uma destas pranchas conterá uma planta baixa do pavimento, geralmente em escala entre 1:50 à 1:150, um carimbo com as informações do empreendimento e projetista responsável, informações textuais técnicas, como notas de projeto, detalhes construtivos e uma tabela de áreas com um resumo do quantitativo referente àquele pavimento.

3.2 Desenvolvimento do Projeto 2

O projeto 2 consta de um edifício multifamiliar com dois pavimentos subsolo (garagens), um pavimento térreo, 21 pavimentos tipo, um pavimento ático/barrilete e um reservatório superior. O empreendimento é composto por uma torre, totalizando 168 apartamentos.

Para o desenvolvimento do projeto de impermeabilização, utilizou-se o software Autodesk® AutoCAD® 2022.

Inicia-se o projeto com um estudo geral de todos os desenhos enviados pelas demais disciplinas (arquitetura, estrutura, hidráulica, fundação, paisagismo etc.), análise das solicitações das áreas com relação à umidade, uso e ocupação. Neste estudo são definidos os sistemas de impermeabilização a serem adotados no projeto com base em desempenho, durabilidade, custo e normas vigentes.

Utiliza-se como base para desenho as plantas geradas pela disciplina de arquitetura. É feita uma “limpeza” das plantas de arquitetura, removendo-se toda e qualquer informação que não seja pertinente ao projeto de impermeabilização, procurando-se manter o *layout* dos ambientes.

O projeto de impermeabilização 2D consiste em plantas baixas dos pavimentos com um mapa de regiões hachuradas dos ambientes a serem impermeabilizados, sendo essas hachuras responsáveis por identificar cada um dos sistemas utilizados através de uma legenda.

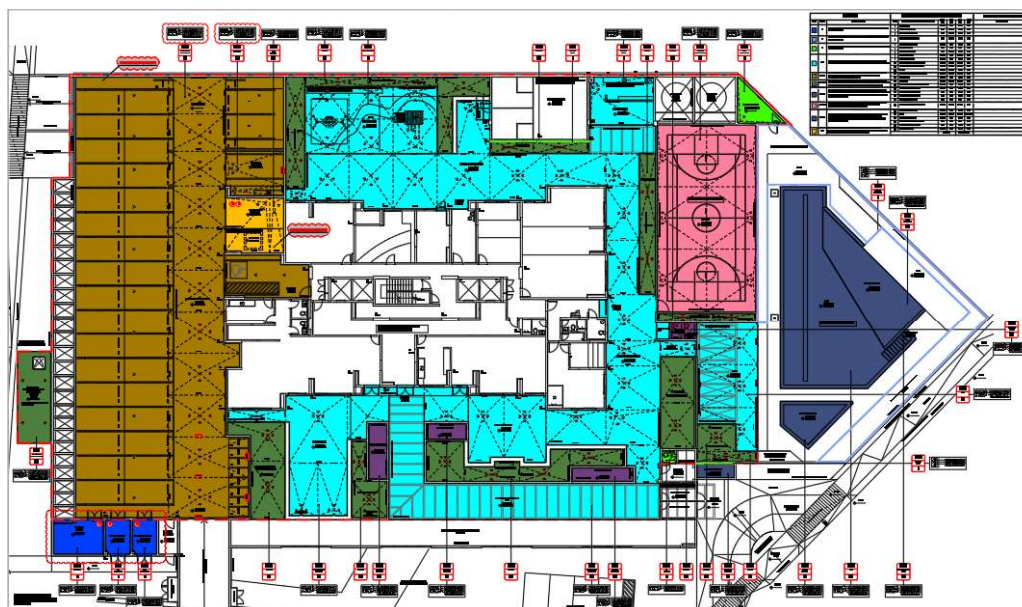


Figura 3 – Sistemas de impermeabilização em planta (mapa de regiões hachuradas).

Após a marcação de todas as áreas a serem impermeabilizadas, são inseridas referências numéricas em cada uma das áreas, criando-se, posteriormente, uma tabela de áreas que faz referência a esses números. São inseridos também estudos de camadas, que são cortes esquemáticos de cada uma das camadas que compõem o sistema de impermeabilização. Por último, a partir do projeto de hidráulica, são posicionados os ralos do projeto em cima do projeto de impermeabilização, para que seja possível estimar os caimentos, conforme solicitado na norma ABNT NBR 9575 [1].

Os cálculos de áreas de sistemas de impermeabilização são feitos manualmente e as características do processo serão discutidas no Item 4.2 deste artigo.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Projeto 1

Os entregáveis considerados para o projeto modelado são a prancha em formato DWG (Autodesk® AutoCAD®) e PDF e um modelo em formato IFC (*Industry Foundation Classes*).

Pode-se questionar o motivo da entrega dos formatos DWG e PDF, que são formatos utilizados no desenvolvimento convencional 2D, mas os autores do estudo entendem que estes formatos ainda são os mais utilizados durante a execução dos serviços em obra. O modelo em formato IFC, grande diferencial da metodologia BIM, ainda é um formato mais utilizado nas fases de projeto e compatibilização.

Para a quantificação dos sistemas utilizados no projeto, tem-se uma grande vantagem na utilização de modelos BIM e na utilização do Autodesk® Revit®, uma vez que o software possui diversas ferramentas para geração de planilhas de quantidades automáticas a partir dos modelos. Essas planilhas podem ser configuradas para calcularem as áreas horizontais de impermeabilização, áreas verticais e áreas totais (soma das áreas horizontais e verticais), bem como quantitativos mais específicos e/ou de materiais, como volume de argamassa para regularização.

| <02 - TABELA DE ÁREAS - TÉRREO> | | | | | | | |
|---|----|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------|
| CÓD./REF | | QUADRO DE ÁREAS IMPERMEABILIZADAS | | | | | REFERÊNCIA DE DETALHES |
| A | B | C | D | E | F | G | H |
| | | ÁREAS IMPERMEABILIZADAS | A.H. (m²) | A.V. (m²) | A.T. (m²) | H.V. (m) | DETALHES |
| C4 | | | | | | | |
| Argamassa polimérica rígida estruturada com tela de poliéster nos pontos críticos (4,0 kg/m²) | | | | | | | |
| C | 1 | LIXO RECICLÁVEL (1x) | 18.93 | 62.55 | 81.48 | 3.56/3.56 | |
| C4D3 | | | | | | | |
| Argamassa polimérica rígida (4,00kg/m²) + Argamassa polimérica flexível estruturada com tela de poliéster nos p | | | | | | | |
| C | 2 | LIXO ORGÂNICO (1x) | 14.35 | 57.45 | 71.79 | 3.55/3.55 | |
| D3 | | | | | | | |
| Argamassa polimérica flexível estruturada com tela de poliéster nos pontos críticos (3,0 kg/m²) | | | | | | | |
| D | 3 | ASSISTÊNCIA TÉCNICA (1x) | 1.18 | 0.23 | 1.42 | 0.20/0.20 | |
| D | 4 | BICICLETÁRIO (1x) | 46.20 | 7.46 | 53.66 | 0.30/0.30 | |
| D | 5 | BOMBAS PISCINA (1x) | 25.53 | 4.95 | 30.48 | 0.20/0.20 | |
| D | 6 | GERADOR (1x) | 20.20 | 5.10 | 25.30 | 0.30/0.30 | |
| D | 7 | COCHO (2x) | 0.82 | 1.19 | 2.02 | 0.30/0.30 | |
| D | 8 | COPA FUNCIONÁRIOS (1x) | 0.95 | 0.43 | 1.38 | 0.20/0.20 | |
| D | 9 | WC (1x) | 0.34 | 0.09 | 0.42 | 0.10/0.10 | |
| D | 10 | WC FEMININO (1x) | 9.19 | 4.76 | 13.95 | 0.20/1.20 | |
| D | 11 | WC MASCULINO (1x) | 6.56 | 5.14 | 11.70 | 0.20/1.20 | |
| M44AC | | | | | | | |
| Manta asfáltica tipo IV 4mm A com acabamento areia/areia aderida com asfalto oxidado (3,0 kg/m²) + banho de | | | | | | | |
| M | 12 | CIRCULAÇÃO DESCOBERTA 01 | 604.73 | 26.70 | 631.43 | | |
| M | 13 | CIRCULAÇÃO DESCOBERTA 02 | 547.99 | 26.46 | 574.45 | | |
| M | 14 | RAMPA DE ACESSO (1x) | 35.79 | 4.19 | 39.98 | 0.60/0.60 | |
| Total geral: 42 | | | 1332.77 | 206.70 | 1539.47 | | |

Figura 4 – Tabela de áreas de sistemas impermeabilizados gerada de maneira automatizada com software BIM (Autodesk® Revit® 2021).

Nos softwares de modelagem BIM, há uma funcionalidade em que é possível selecionar as áreas nas tabelas e destacá-las automaticamente no modelo, conforme Figura 5, abaixo.

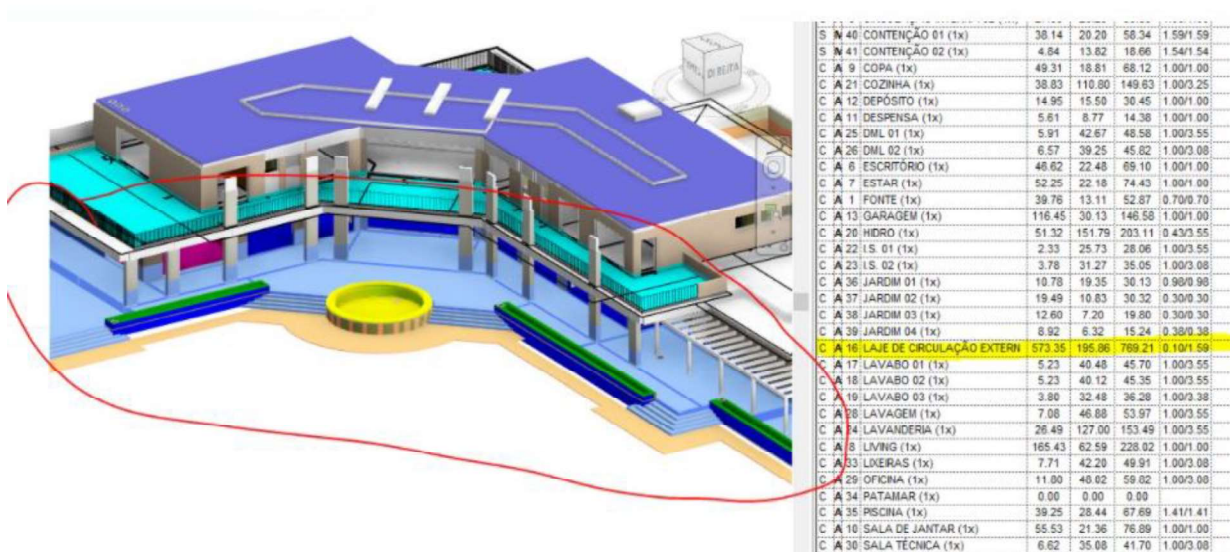


Figura 5 – Tabela de áreas de sistemas impermeabilizados gerada de maneira automatizada com software BIM (Autodesk® Revit® 2021).

Um outro grande diferencial na utilização da metodologia BIM é a possibilidade de verificar de maneira clara as interferências em relação às cotas, caimentos e viradas dos sistemas.

A Figura 6 abaixo, representa um corte gerado a partir do modelo, em que se nota a possibilidade de conferência das viradas/arrematas do sistema de impermeabilização na laje de cobertura dos reservatórios.

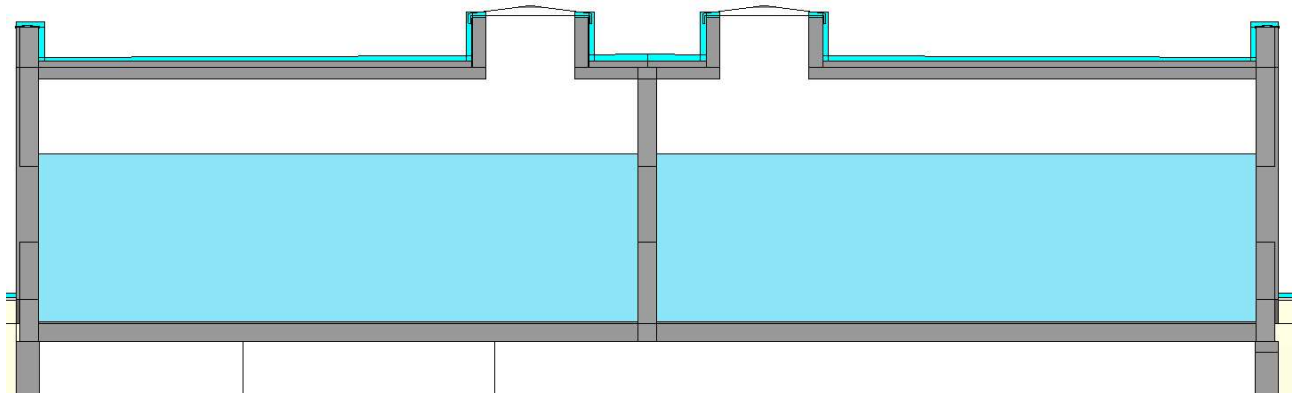


Figura 6 – Corte de reservatório superior e laje de cobertura.

A Figura 7 representa um corte gerado a partir do modelo, em que nota-se, numa área de varanda, em cinza escuro, a laje da estrutura, em verde, o sistema de impermeabilização e, em vermelho claro, o contrapiso modelado pela arquitetura. Nota-se, na figura 7, o processo de verificação e compatibilização executado para conferência dos níveis do sistema de impermeabilização em relação aos outros sistemas. O sistema de impermeabilização, em verde na figura, não poderia estar modelado acima do sistema em vermelho claro (contrapiso da arquitetura), pois isso seria um indicativo de que o sistema estaria ultrapassando as cotas disponíveis para a área em questão.

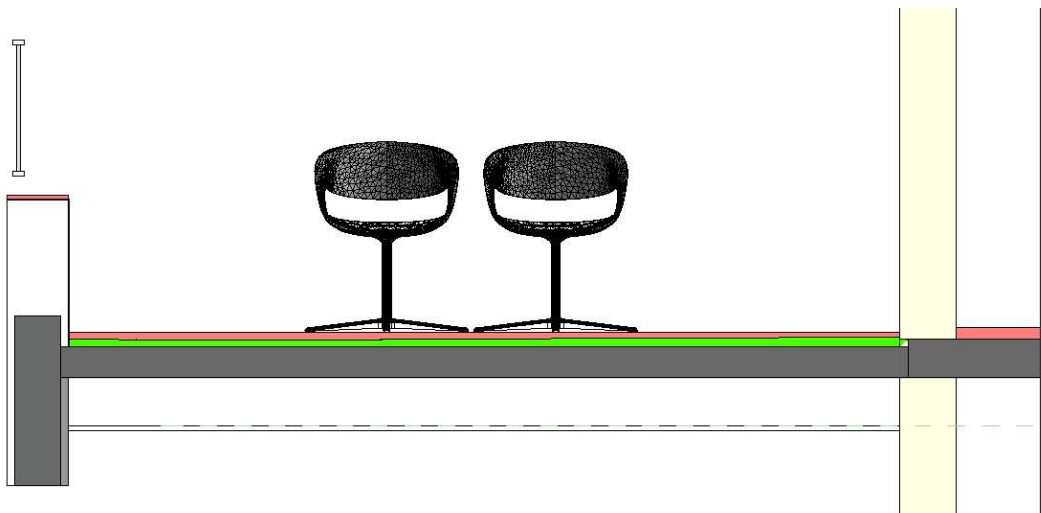


Figura 7 – Corte de varanda com representação de laje de estrutura, sistema de impermeabilização e contrapiso da arquitetura.

Os modelos também possibilitam um desenvolvimento mais assertivo dos projetos, pois analisando-se os modelos de outras disciplinas, os projetistas de impermeabilização enxergam de forma clara características que, em uma metodologia convencional 2D, não seriam tão explícitas.

As Figuras 8 e 9, abaixo, representam uma área de ventilação prevista pela arquitetura, e que o modelo de impermeabilização utilizou para realizar um recorte em seu. Este tipo de informação nem sempre é notada nas pranchas 2D, pois é comum que não haja a indicação de uma área de ventilação ou corte que represente essa saída.

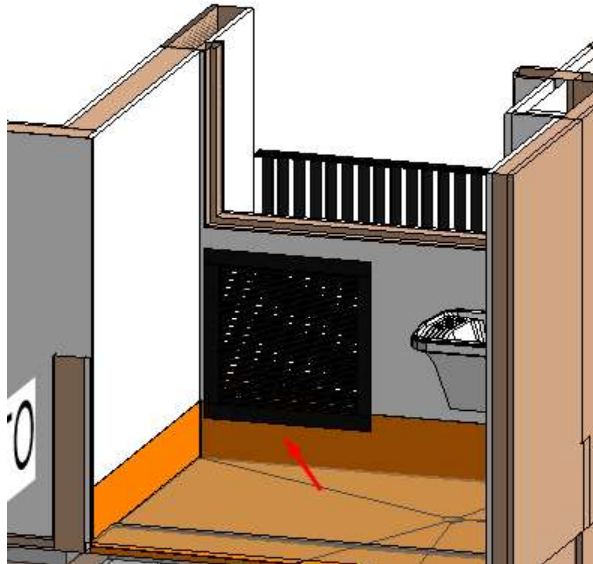


Figura 8 – Saída de ventilação em modelo de arquitetura e modelo de impermeabilização.

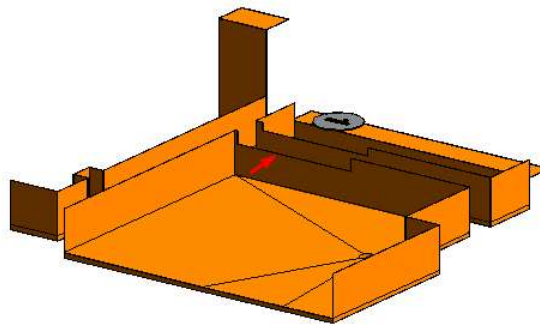


Figura 9 – Modelo de impermeabilização com recorte de área que não será impermeabilizada.

O modelo BIM proporciona, também, uma grande vantagem para a visualização de cortes e vistas de elementos de difícil entendimento, conforme demonstrado pelas Figuras 10, 11 e 12, abaixo. Destacamos a visualização de bordas de piscinas, reservatórios e áreas enterradas.

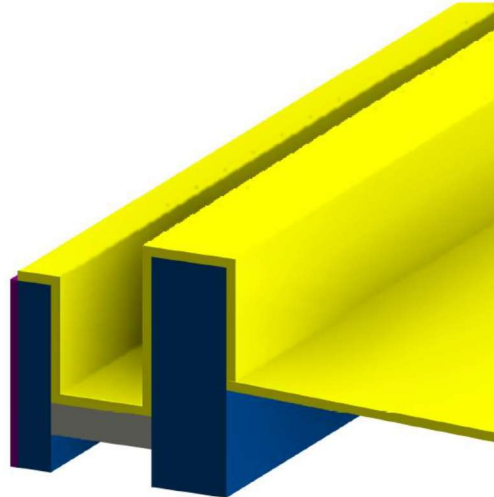


Figura 10 – Modelagem de borda de piscina.

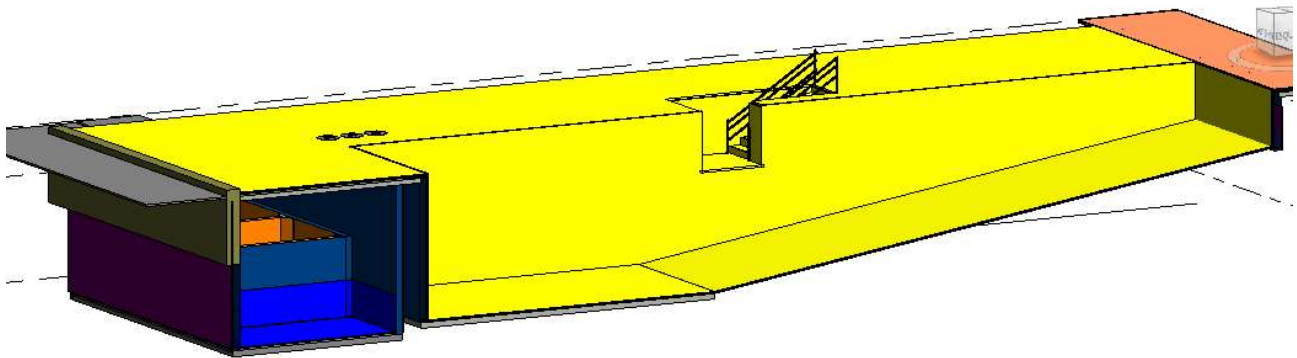


Figura 11 – Modelo de reservatório enterrado.

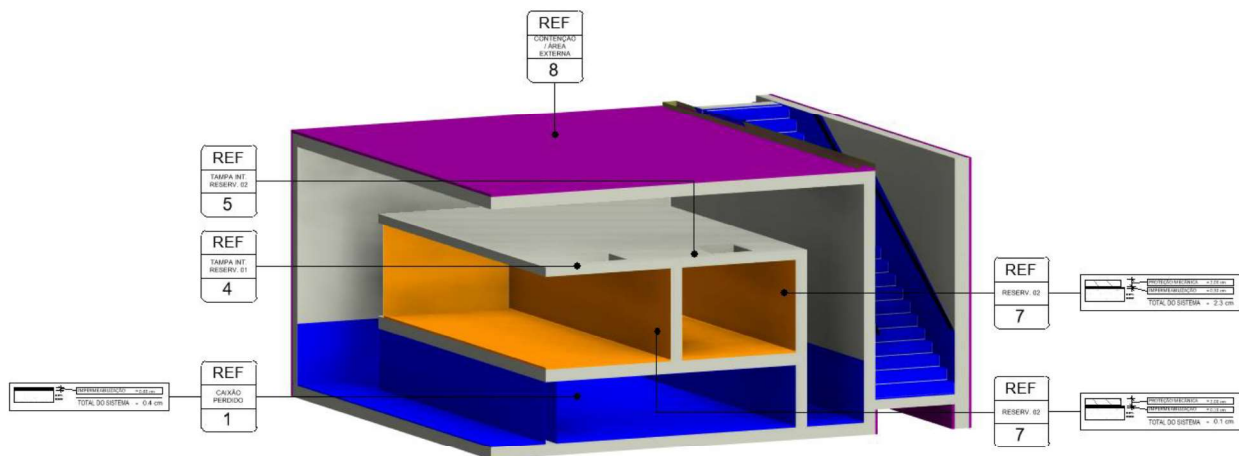
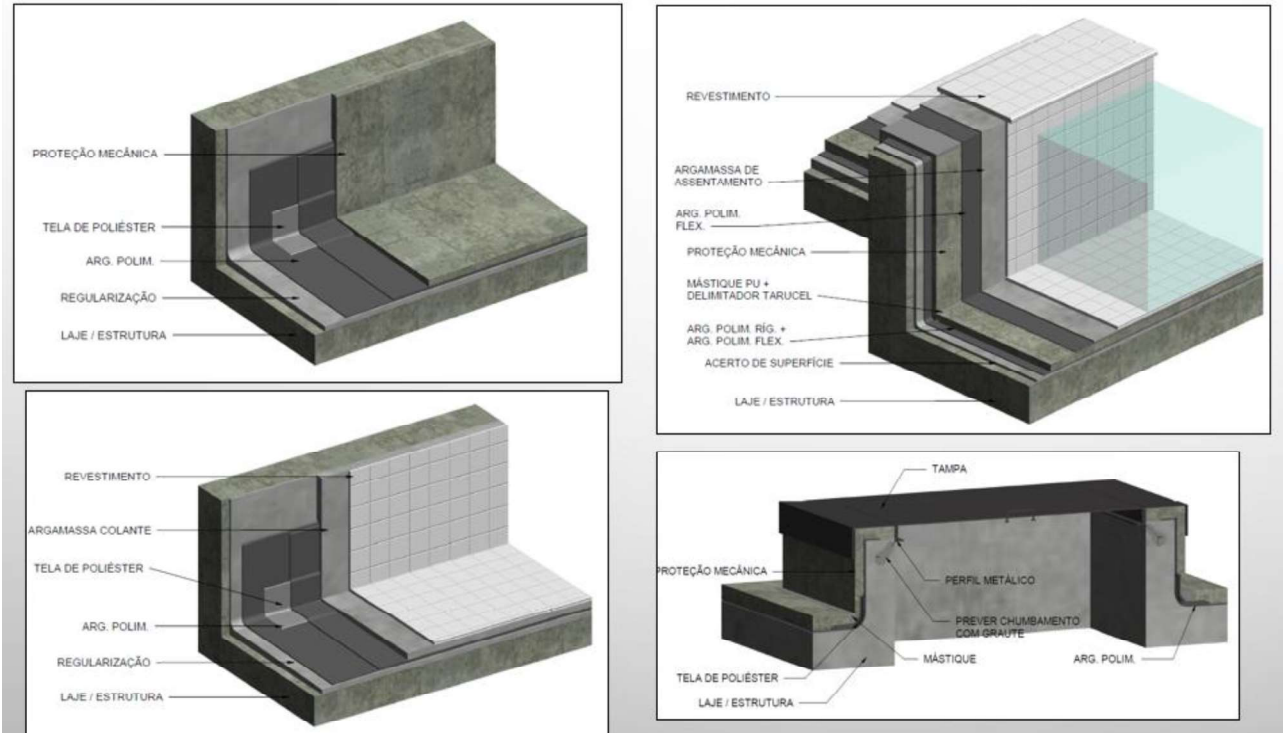


Figura 12 – Modelo de piscina e reservatório enterrado.

Também pode-se utilizar o modelo para a criação de detalhes construtivos tridimensionais, conforme Figura 13. Estes detalhes apresentam de maneira esquemática, ou com medidas reais, as camadas que serão aplicadas durante a execução



do sistema.

Figura 13 – Detalhes construtivos.

4.2 Projeto 2

Os entregáveis considerados para o projeto em metodologia 2D são a prancha em formato DWG (Autodesk ® AutoCAD ®) e PDF.

Para a quantificação dos sistemas utilizados no projeto, tem-se uma grande desvantagem na utilização de metodologias 2D, uma vez que a impermeabilização representada em pranchas 2D (plantas baixas), não passa de uma representação gráfica, desprovida de características geométricas como volume e área.

A única forma de quantificação dos sistemas em metodologias 2D é a do cálculo manual. A partir de uma linha poligonal que forma uma região hachurada, representando uma determinada área impermeabilizada, extrai-se a área horizontal do ambiente, e, de seu perímetro, multiplicado pelas alturas verticais de impermeabilização (rodapés, paredes e muretas), tem-se as áreas verticais de impermeabilização.

As áreas calculadas são organizadas em uma tabela resumo de quantidades e inseridas na prancha (Figura 14). O processo é trabalhoso, pois exige um cálculo único para cada uma das áreas impermeabilizadas, e não é nada automatizado, ou seja, em caso de alteração nas áreas, o cálculo deve ser refeito. O processo também abre espaço para erros humanos, como erros de digitação, erros de interpretação de projeto, erros de cálculos etc.



| SISTEMAS | | | QUADRO DE ÁREAS IMPERMEABILIZADAS | | | | | REFERÊNCIA DE DETALHES | |
|----------|---------|---|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|----------|
| COR | CÓD | DESCRIÇÃO | REF. | ÁREAS IMPERMEABILIZADAS | A.H. (m ²) | A.V. (m ²) | A.T. (m ²) | H.V. (m) | DETALHES |
| ■ | C3 | Argamassa polimérica rígida estruturada com tela de poliéster nos pontos críticos (3,0 kg/m ²) | 1 | GERADOR | 18,28 | 5,02 | 23,30 | 0,30 | |
| | | | 2 | LIXO ORGÂNICO | 9,59 | 34,61 | 44,20 | 3,50 | |
| | | | 3 | LIXO RECICLÁVEL | 9,43 | 34,27 | 43,70 | 3,50 | |
| ■ | C4 | Argamassa polimérica rígida estruturada com tela de poliéster nos pontos críticos (4,0 kg/m ²) | 4 | MURETA DE JARDIM | 0,00 | 84,51 | 84,51 | 0,60 | |
| ■ | O3 | Argamassa polimérica flexível estruturada com tela de poliéster nos pontos críticos (3,0 kg/m ²) | 5 | CASA DE BOMBAS | 12,10 | 4,78 | 16,88 | 0,30 | |
| | | | 6 | WC GUARITA | 1,78 | 1,48 | 3,26 | 0,30 | |
| | | | 7 | PAREDE VERDE | 0,00 | 14,00 | 14,00 | 1,00 | |
| ■ | O34A | Manta asfáltica tipo III 4mm B com acabamento areia/areia aderida com asfalto elastomérico (3,0 kg/m ²) + banho de asfalto elastomérico (2,0 kg/m ²) | 8 | PLAYGROUND | 91,99 | 8,14 | 100,13 | 0,30 | |
| | | | 9 | ESPAÇO GRILL | 30,66 | 9,21 | 39,87 | 0,30 | |
| | | | 10 | APOIO FESTAS GOURMET | 536,42 | 75,88 | 612,30 | 0,30 | |
| | | | 11 | CIRCULAÇÃO PRINCIPAL | 135,22 | 20,81 | 156,03 | 0,30 | |
| | | | 12 | DECK | 70,66 | 11,18 | 81,84 | 0,30 | |
| ■ | O34AC | Manta asfáltica tipo III 4mm B com acabamento areia/areia aderida com asfalto elastomérico (3,0 kg/m ²) + banho de asfalto elastomérico (2,0 kg/m ²) + camada de amortecimento | 13 | CIRCULAÇÃO DE VEÍCULOS | 794,73 | 45,92 | 840,65 | 0,30 | |
| | | | 14 | CARWASH | 20,82 | 5,25 | 26,07 | 0,30 | |
| ■ | O34AP05 | Manta asfáltica tipo III 4mm B com acabamento areia/areia aderida com asfalto elastomérico (3,0 kg/m ²) + banho de asfalto elastomérico (2,0 kg/m ²) + pintura de proteção antirraz sobre a proteção mecânica (0,3/m ²) | 15 | JARDINS | 253,86 | 184,99 | 438,85 | 0,60 | |
| | | | 16 | TAMPA EXT. RESERV. CONT. | 31,98 | 0,00 | 31,98 | 0,00 | |
| ■ | O34AD2 | Manta asfáltica tipo III 4mm B com acabamento areia/areia aderida com asfalto elastomérico (3,0 kg/m ²) + banho de asfalto elastomérico (2,0 kg/m ²) + argamassa polimérica flexível sobre proteção mecânica para combater eflorescência (2,0 kg/m ²) | 17 | ESPELHO D'ÁGUA 01 | 10,68 | 7,41 | 18,09 | 0,49 | |
| | | | 18 | ESPELHO D'ÁGUA 02 | 6,65 | 5,63 | 12,28 | 0,49 | |
| | | | 19 | ESPELHO D'ÁGUA 03 | 8,93 | 7,56 | 16,49 | 0,49 | |
| | | | 20 | LAVAPÉS/ DUCHA | 4,84 | 1,69 | 6,53 | 0,30 | |
| ■ | O34AGE | Manta asfáltica tipo III 4mm B com acabamento areia/areia aderida com asfalto elastomérico (3,0 kg/m ²) + banho de asfalto elastomérico (2,0 kg/m ²) + camada de geocomposto drenante | 21 | QUADRA POLIESPORTIVA | 192,29 | 17,11 | 209,40 | 0,30 | |
| | | | 22 | PISCINA INFANTIL | 22,37 | 9,57 | 31,94 | 0,47 | |
| ■ | C3D3D2 | Argamassa polimérica rígida (3,0 kg/m ²) + Argamassa polimérica flexível estruturada com tela de poliéster nos pontos críticos (3,0 kg/m ²) + Argamassa polimérica flexível sobre proteção mecânica para combater eflorescência (2,0 kg/m ²) | 23 | RAIA | 153,87 | 70,46 | 224,33 | 0,63/1,20 | |
| | | | 24 | DECK MOLHADO | 58,49 | 6,74 | 65,23 | 0,37 | |
| | | | 25 | ESCALADA ACESSO À RAIA | 3,60 | 1,38 | 4,98 | 0,18 | |
| | | | 26 | ESPELHO D'ÁGUA 04 | 5,59 | 5,83 | 11,42 | 0,55 | |
| ■ | J30A | Primer a base de resina epóxi + membrana a base de poliuretano estruturada nos pontos críticos (3,0 kg/m ²) com aspersão de agregado de quartzo #8 - 14 (1,5 kg/m ²) - REF - MASTERPUR | 27 | BIKE SHARING | 33,02 | 6,37 | 39,39 | 0,30 | |
| | | | | | | TOTAL | 3203,63m ² | | |

Figura 14 – Tabela de áreas de sistemas impermeabilizados preenchida manualmente.

Para a compatibilização do projeto de impermeabilização, a metodologia convencional 2D exige uma análise de diversas informações, que estão disponíveis em diferentes projetos. O projetista de impermeabilização precisa buscar plantas de arquitetura, estrutura, hidráulica, paisagismo e seus cortes e detalhes (Figuras 15, 16 e 17).

Esta metodologia exige um grande esforço para o relacionamento das informações encontradas nos diferentes projetos. São necessárias muitas sobreposições de plantas para compreensão das interfaces entre as diferentes disciplinas.

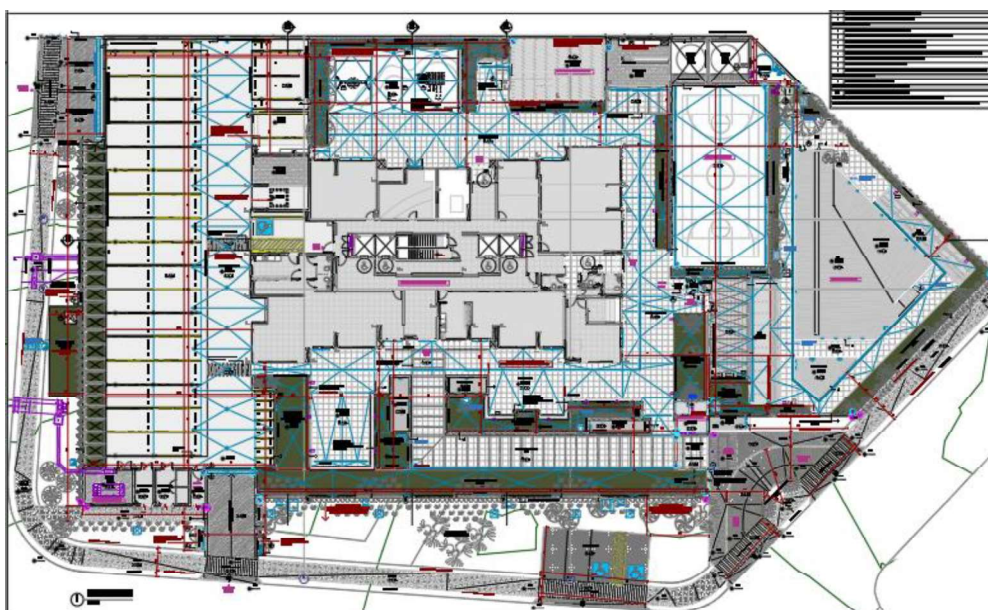


Figura 15 – Planta de arquitetura 2D.

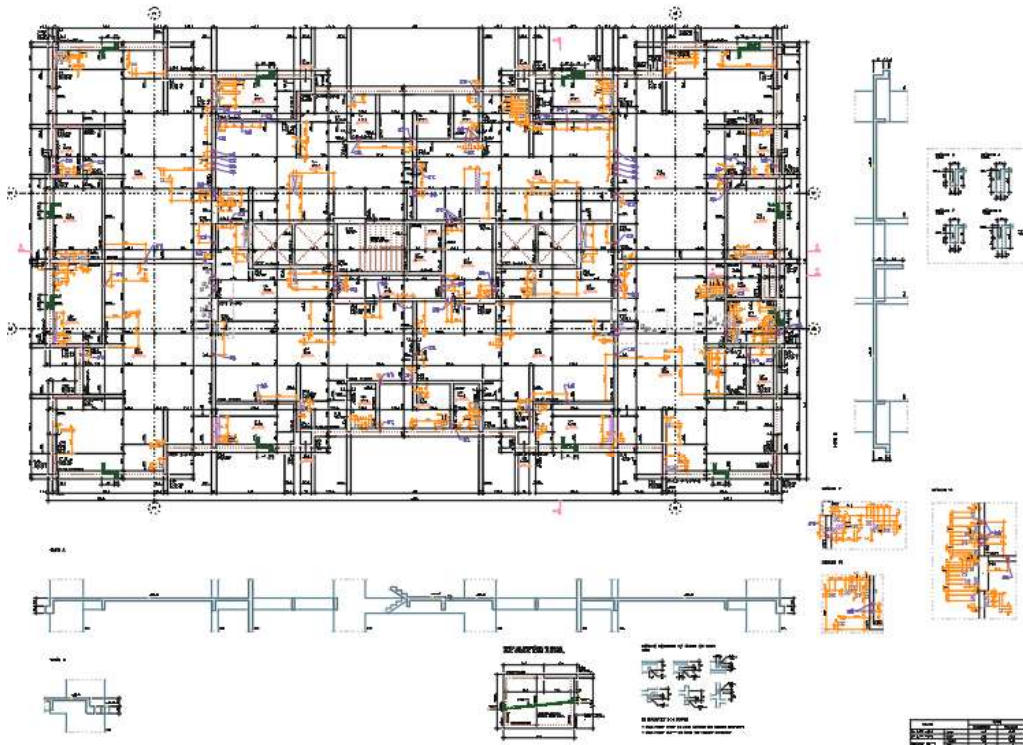


Figura 16 – Planta de estrutura 2D.

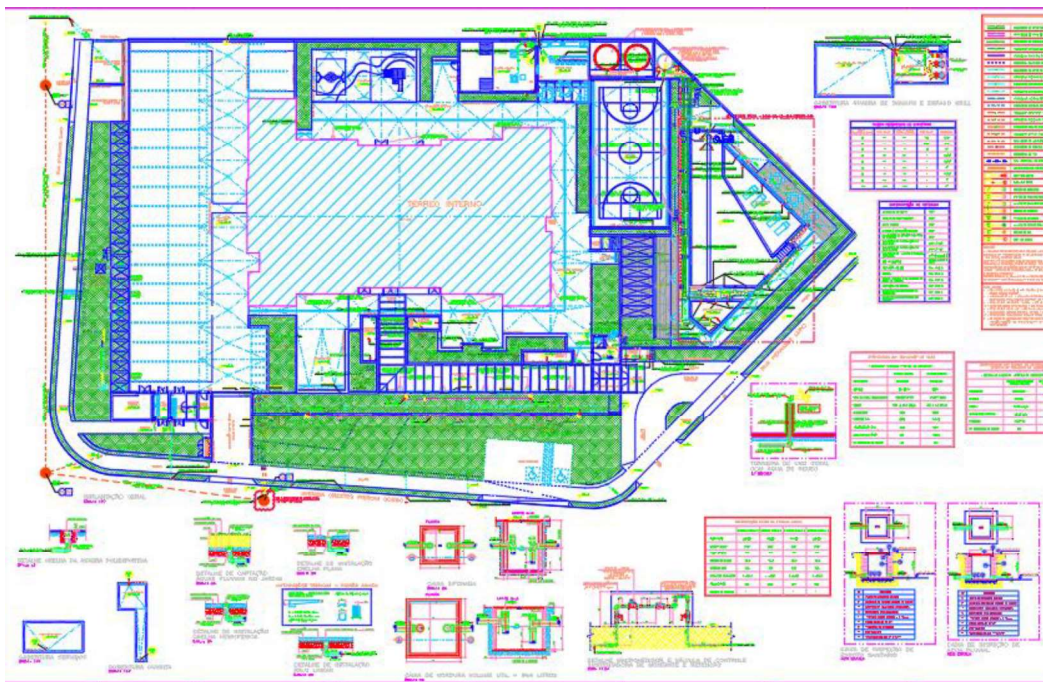


Figura 17 – Planta de hidráulica 2D.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após análise dos resultados apresentados, considera-se que o objetivo do estudo foi atingido e ainda pode-se destacar que:

- a) Para ambas as metodologias é necessário análise de um projetista especialista em impermeabilização para verificação das áreas e solicitações para definição dos sistemas de impermeabilização com base em desempenho e durabilidade;
- b) Para o Projeto 1, na atualização de fases, como o maior esforço de soluções e compatibilizações se deu nas fases iniciais, o modelo foi reaproveitado e ajustado pontualmente com os novos vínculos. Já para o Projeto 2 em todas as fases era necessário iniciar um trabalho do zero com limpeza de bases, marcação de áreas, sobreposição de plantas etc.
- c) No Projeto 1, em função da facilidade da visualização com os modelos, foi possível identificar mais interferências visualmente sendo estas apontadas para coordenação e ajustadas antes da conclusão do projeto, já para o Projeto 2, as interferências são identificadas com base na experiência do projetista de impermeabilização com base nas informações apresentadas graficamente nas disciplinas de análise. Entretanto, mesmo com um profissional experiente analisando, em áreas onde não há cortes ou detalhamentos das disciplinas necessárias - ou não se tem uma solução confiável ou acaba indo para a obra sem solução definida. Geralmente estes são os pontos mais críticos na execução da impermeabilização na obra. Nota-se ainda que ao questionar equipes e responsáveis por projetos 2D durante o desenvolvimento, muitos não tem ideia de como determinada solução vai ser executada *in loco*;
- d) Os quantitativos obtidos no Projeto 1 das áreas impermeabilizadas são muito mais assertivos em função da automatização. Bem como, quando necessário ajustes pontuais, esse quantitativo é atualizado automaticamente, o que não ocorre no Projeto 2;
- e) Em função dos entregáveis, o planejamento, orçamento e até mesmo execução da impermeabilização na obra se torna mais assertivo e com melhor visualização para o Projeto 1 – possibilitando profissionais enxergarem detalhadamente o que realmente acontece com a impermeabilização evitando-se erros que podem gerar problemas de pós-obra.

AGRADECIMENTOS

À equipe IMPER SOLUTIONS PROJETOS, PESQUISA E CONSULTORIA pela contribuição e dedicação.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575 – **Impermeabilização – Seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2010.
- [2] SECOVI-SP. **Manual de escopo de projetos e serviços de impermeabilização**. 3 ed. Disponível em http://www.manuaisdeescopo.com.br/wp-content/uploads/2019/04/Manual_Impermeabilizacao.pdf. Acesso em 26/03/2022 às 10:20h.
- [3] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Processo de projeto BIM: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC**. Vol. 1 – Brasília/DF, 2017.
- [4] EASTMAN, C., TELCHOLZ, P., SACKS, R., et al. **Manual de BIM: um guia para modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros gerentes, construtores e incorporadores**. 1 ed. - Porto Alegre, Bookman, 2014.
- [5] KENSEK, K. **Building Information Modeling: Bim: fundamentos e aplicações**. 1 ed. - Rio de Janeiro, Elsevier, 2018.
- [6] WON, J., CHENG, J. C. P., LEE, G. “**Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea**”, Waste Management, n. 49, pp. 1, 2016.
- [7] SOUZA, J. C. S., MELHADO, S. B. **Impermeabilização dos pisos do pavimento-tipo de edifícios: diretrizes para o projeto e sistemas empregados**, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- [8] PETERSEN DE SOUZA, F.; FORMOSO, C.T. **Levantamento de estratégias de produção e aspectos de modernização em empresas de construção de edificações**. In: SEMINÁRIO QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: Gestão e Tecnologia, 2., Porto Alegre, NORIE/UFRGS, 1993. p.97-131.
- [9] DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO – **Decreto nº 10.306**. Brasília/DF, 2020. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.306-de-2-de-abril-de-2020-251068946> Acesso em 10/04/2022 às 14:57
- [10] DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO – **Decreto nº 9.983**. Brasília/DF, 2019. Disponível em <https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-9983-de-22-de-agosto-de-2019-212178848?inheritRedirect=true> Acesso em 10/04/2022 às 14:57

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

GESTÃO DE RISCOS: LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE RISCO A PARTIR DE ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA DE PALMAS/TO

BARROS COSTA, Nathália¹; SOTO IZQUIERDO, Indara²

¹ Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas/TO, Brasil, nathaliabrros@gmail.com, 0000-0001-5337-8232

² Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas/TO, Brasil, indaritasi@uft.edu.br, 0000-0001-6411-331X

RESUMO

Com o presente trabalho, buscou-se compreender e transmitir informações relacionadas à gestão de risco na construção civil. A finalidade é propor um levantamento e análise prática da gestão de riscos de uma reforma residencial multifamiliar na cidade de Palmas/TO. A metodologia utilizada tem como base a NBR ISO 31000 (ABNT, 2018) e sua norma auxiliar a NBR IEC 31010 (ABNT, 2021), no qual a partir da caracterização do cliente, obra e contexto interno e externo, identifica, analisa e avalia as incertezas por meio de uma matriz de probabilidade e consequência, propondo assim soluções para os riscos levantados. A partir dos resultados obtidos, foi possível compreender a relação entre diferentes categorias analisadas, sendo que Mercado, Projetos e Obras foram as mais relevantes no que diz respeito ao nível dos riscos, apresentando um maior número de riscos extremos, ao contrário das categorias de incerteza Políticas, Legais e Naturais, as quais apresentaram os índices menos relevantes, com níveis baixos ou médios. O tratamento aos riscos proposto também se mostrou em sua grande maioria altamente aplicável na reforma. Finalmente, por meio da pesquisa foi observado que a implementação prática da gestão de riscos não é complexa, poupa muitos inconvenientes e é um processo que pode ser adotado em todos os tipos de obra.

Palavras-chave: gestão; gestão de riscos; construção civil.

ABSTRACT

With the present work, we sought to understand and transmit information related to risk management in civil construction. The purpose is to propose a survey and practical analysis of the risk management of a multifamily residential renovation in the city of Palmas/TO. The methodology used is based on NBR ISO 31000 (ABNT, 2018) and its auxiliary standard, NBR IEC 31010 (ABNT, 2021), in which, based on the characterization of the client, work and internal and external context, it identifies, analyzes and assesses uncertainties through a probability and consequence matrix, thus proposing solutions for the risks raised. Based on the results obtained, it was possible to understand the relationship between the different categories analyzed, with Market, Projects and Works being the most relevant with regard to the level of risks, presenting a greater number of extreme risks, unlike the categories of Political, Legal and Natural uncertainty, which presented the least relevant indices, with low or medium levels. The treatment of the proposed risks also proved to be, for the most part, highly applicable in the reform. Finally, through the research it was observed that the practical implementation of risk management is not complex, saves many inconveniences and is a process that can be adopted in all types of work.

Keywords: management; risk management; civil construction.

1. INTRODUÇÃO

A busca por aprimoramentos de resultados por meio da implementação da gestão de risco no ambiente empresarial pode ser observada por vários setores da economia, incluindo a construção civil, um ambiente cercado de riscos e incertezas, que gera grande impacto na economia brasileira e no atual mercado competitivo. Para compreender, avaliar e tratar o risco é fundamental para o êxito nas metas e objetivos de qualquer empreendimento.

O processo de gerenciamento de riscos considera os contextos externo e interno da organização, incluindo o comportamento humano e os fatores culturais, bem como seus impactos positivos e negativos, e as possíveis formas de,

respectivamente, explorá-los ou reduzi-los [1]. Pensando nessa importância, o governo federal implementou na nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos, a Lei Nº 14.133 [2], a obrigatoriedade da política de gestão de riscos por parte da empresa contratada, como forma de mitigar os impactos gerados pela falta de planejamento e gestão.

Com base na relevância desse tema surgem diversas metodologias que podem ser utilizadas como referência para o processo de gestão de riscos, entre elas tem-se, a norma ISO 31000:2018 – Gestão de Riscos – Diretrizes [1], cada qual com suas características e fases do processo bem definidas. Ademais, atualmente, para aplicação das metodologias citadas, são usadas técnicas de avaliação de riscos selecionadas de acordo com grau de profundidade e a disposição dos dados do projeto. Essas ferramentas são aplicadas tanto para análises qualitativas e/ou quantitativas, no qual vão desde entrevistas/listas à modelos matemáticos específicos [3].

No presente trabalho, primeiramente tem-se a coleta dos dados da obra, construtora e clientes, sendo posteriormente levantadas as principais categorias geradoras de riscos no contexto analisado, como política, economia, fatores naturais, projetos, finanças, dentre outras. A partir dessas categorias, serão identificados os respectivos riscos, bem como feita sua análise e avaliação, por meio de uma Matriz de Probabilidade/Impacto, para então propor soluções e resposta aos eventos.

Desse modo, a construção dessa pesquisa contará com a abordagem tanto dos processos como técnicas da gestão de riscos, bem como com a aplicação metodológica dessas ferramentas, de forma prática, no estudo de caso. Esse processo será desenvolvido a partir da definição de escopo e contexto, identificação, análise e avaliação dos riscos coletados a partir de uma obra de reforma residencial multifamiliar no município de Palmas/TO.

1.1 Modelo de gestão de riscos

A NBR ISO 31000 – Gestão de Riscos: Diretrizes [1] é uma norma criada com o intuito de oferecer ferramentas, para qualquer organização ou empreendimento, independentemente do tipo ou tamanho, de criar e proteger seus valores através do gerenciamento de riscos e assim alcançar seus objetivos e melhorar seu desempenho. A norma é composta por três partes fundamentais, que são: os princípios, a estrutura e os processos de gestão de risco, os quais são demonstrados pela Figura 1.

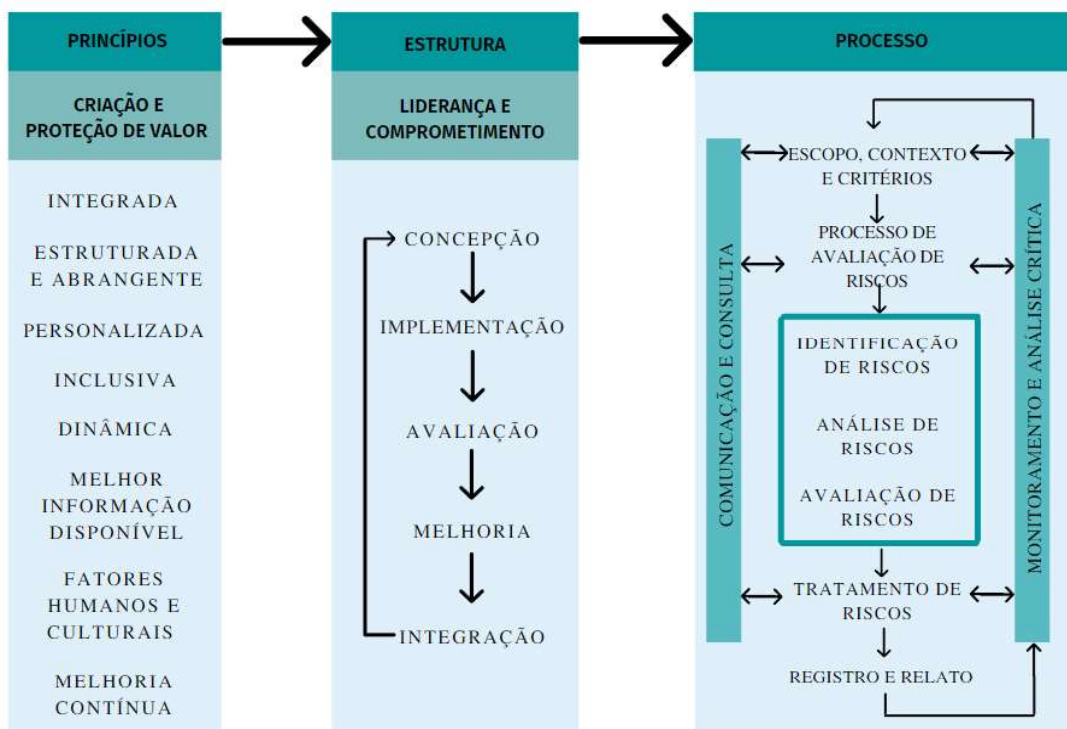


Figura 1- Princípios, estrutura e processos [2].

O processo de avaliação de riscos proporciona um embasamento para as decisões e abordagens necessárias durante o tratamento e mitigação dos eventos incertos. Ademais, apesar do processo ser global, cada contexto deve ser levado em consideração, bem como os métodos e técnicas que serão utilizados durante a análise [1].

Existem diversos métodos utilizáveis para a realização do processo. Essas ferramentas podem ser utilizadas tanto de maneira individual como combinadas, uma vez que cada uma delas possui aplicabilidade em áreas específicas que ao fim se complementam, dentre alguns exemplos tem-se Brainstorming e Matriz de Probabilidade/Consequência utilizadas no estudo.

1.2 Objetivos

A pesquisa em questão tem o objetivo de analisar a importância e os benefícios da implementação da política de gestão de riscos nos processos da construção civil. Sendo validada a partir de um estudo que propõe a realização de uma análise de aplicação prática do processo de gestão de riscos com base nos dados fornecidos e/ou extraídos de obra de reforma residencial multifamiliar na cidade de Palmas/TO.

Os objetivos específicos da pesquisa em questão são:

1. Identificar o ambiente, definir parâmetros e critérios básicos para a realização da gestão de riscos;
2. Coletar, analisar e avaliar os riscos de uma obra de reforma residencial multifamiliar no município de Palmas/TO;
3. Apresentar boas práticas para a implementação e aplicação da Gestão de Riscos.

2. METODOLOGIA

A obra em análise tratou-se de uma reforma residencial multifamiliar, que observada no mês de janeiro de 2022, se encontra em andamento, na etapa de demolição, no Plano Diretor Sul, no município de Palmas -TO, em um terreno de 330 m². No empreendimento em questão foram previstas algumas alterações em relação ao layout da planta baixa original, com o intuito de reestruturar o ambiente conforme as Figuras 2 e 3 mostram. É uma obra de pequeno porte, onde percebe-se a partir dos projetos que a alteração da área construída é mínima, sendo que inicialmente era 170,38 m² e ao finalizar será 176,79 m². O objetivo final da reforma é reestruturar e dividir as 3 casas de forma que valorizem e sejam alugadas.

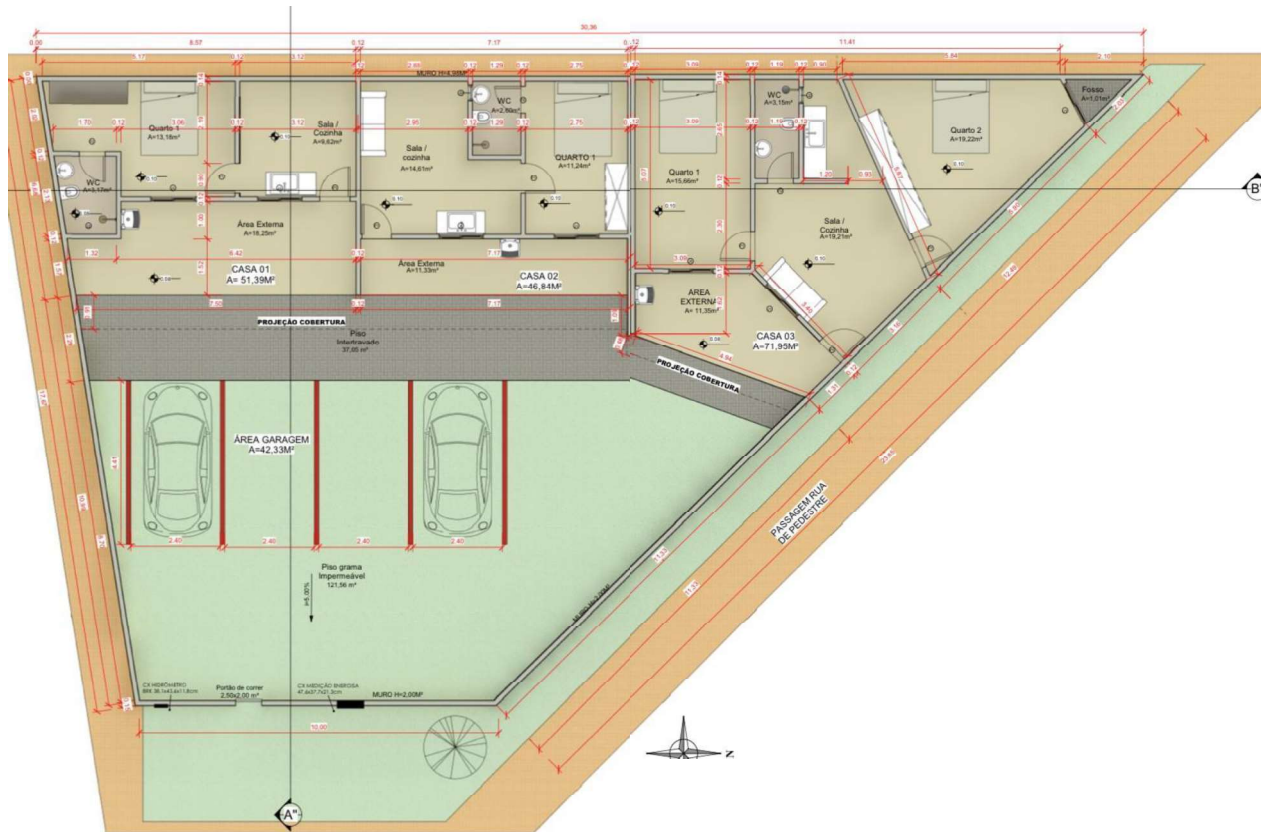


Figura 2 – Planta baixa: Projeto Original.

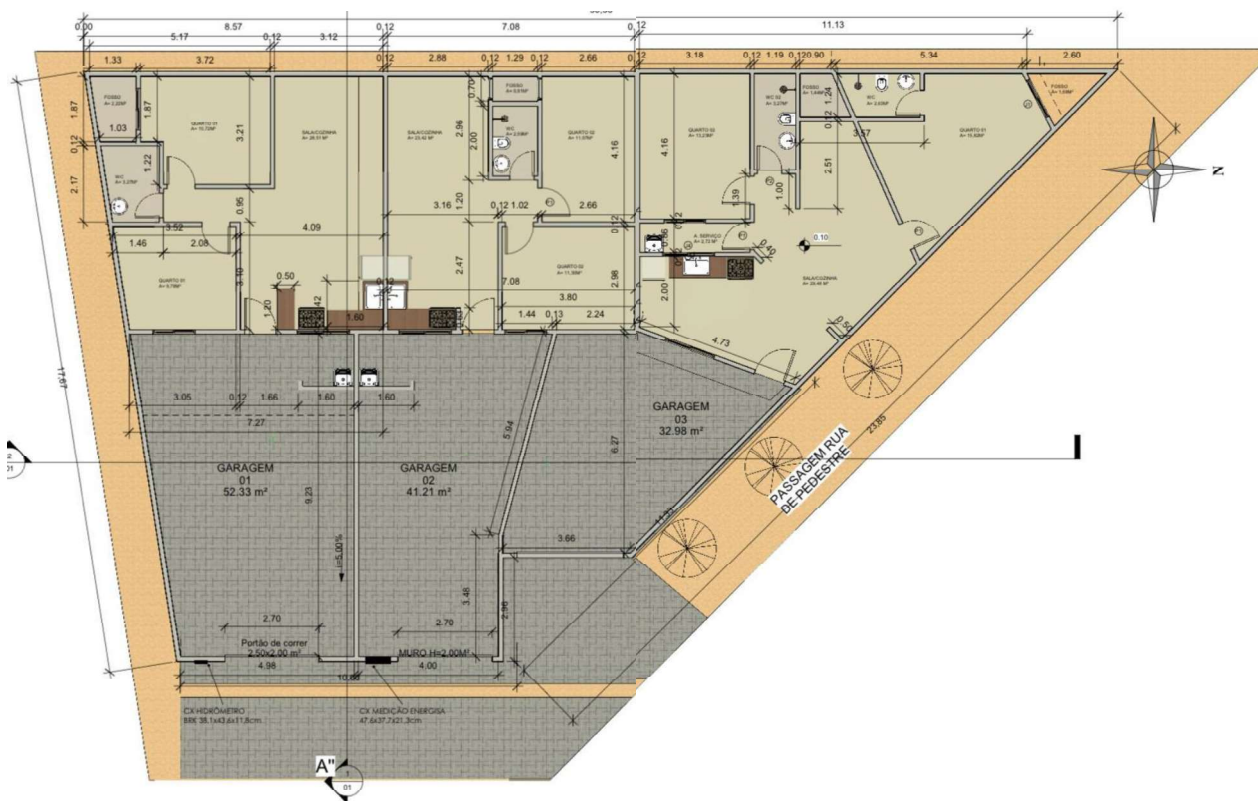


Figura 3 – Planta baixa: Projeto Reforma.

2.1 Escopo, Contexto e Critérios

Nessa etapa foram estabelecidos o contexto dos fatos que poderiam influenciar e alterar os resultados da organização. Além disso, nela foi promovida uma personalização do processo de gestão de riscos, ao definirmos os parâmetros e critérios básicos para a análise [3]. Essas informações foram coletadas por meio de questionários e reuniões com o responsável pela obra, com base na técnica de Brainstorming e seguindo o processo proposto no Guia De Procedimentos Para Gestão [4].

Durante essa etapa, foram apurados dados referentes ao perfil da empresa, da obra e cliente em questão, uma vez que todos esses aspectos influenciaram na etapa posterior de identificação dos riscos. Ademais, foram selecionadas as principais categorias de riscos existentes, com base no contexto desse projeto, tanto interno quanto externo.

2.2 Processo de Avaliação de Riscos

No processo de avaliação de riscos foram feitas a identificação, análise e avaliação dos riscos, tanto de maneira qualitativa como quantitativa, conforme o fluxograma da Figura 4.



Figura 4- Fluxograma das técnicas usadas no processo de avaliação de riscos [3].

O processo de identificação dos riscos foi feito através das técnicas de Brainstorming e Análise Preliminar de Perigos (APP), com base no processo utilizado no Ministério da Justiça e Segurança Pública [5], onde os dados foram extraídos por meio de um formulário, detalhado, no qual foram preenchidos pelos responsáveis técnicos envolvidos na obra, tendo como referências as categorias estabelecidas anteriormente.

Após a identificação dos riscos, foi feita sua análise por meio de uma Matriz de Probabilidade e Impacto, no qual os parâmetros de classificação e dados usados foram coletados da resolução N° 2, do Comitê de Gestão Estratégica do Ministério da Justiça [6], onde tem-se a classificação do risco quanto a probabilidade sob os parâmetros: muito alta (5), alta (4), média (3), baixa (2) e muito baixa (1). Já quanto ao impacto tem-se: catastrófico (5), forte (4), moderado (3), insignificante (2), muito baixo (1).

Tendo como referências os dados coletados de cada risco, assim como da sua classificação em relação à probabilidade de ocorrência e do impacto nos resultados, a avaliação dos riscos foi feita a partir da combinação do produto desses fatores (probabilidade x impacto) em cada um dos eventos. Assim, foram consideradas as escalas numéricas de mensuração do

risco definidas pelo CGE [8], sendo: risco baixo (1-4), risco médio (5-11), risco alto (12-15) e risco extremo (16-25). A matriz de risco resultante dos eventos analisados permitiu a visualização desses conforme sua ordem de prioridade.

3. RESULTADOS E DISCUSÕES

3.1 Escopo, Contexto e Critérios

A obra analisada trata-se de uma de uma residência multifamiliar horizontalizada com 3 casas, que tem como objetivo ser alugada ao final da reforma. O processo encontra-se em andamento, tal qual mostra a Figura 5.



Figura 5 – Obra em andamento.

Em relação ao contexto analisado, no que tange a caracterização do cenário atual do país para o engenheiro, obteve-se como resultado uma economia estagnada, uma política relativamente instável, um mercado bem concorrido, mas um bom acesso a créditos para financiamentos.

Nessa reforma residencial multifamiliar em questão o investimento esperado é de 90.000 reais e a previsão de entrega é de 3 meses. De acordo com o gestor de obra, a construção no primeiro momento aparenta ser descomplicada, porém com algumas ameaças como falta de qualificação profissional e de matéria-prima. No que diz respeito ao cliente, não existem preocupações relevantes, visto que esse possui estabilidade financeira, boa conduta em relação a pagamentos, pouco potencial interventivo e já trabalhou com a empresa.

3.2 Processo de Avaliação de Riscos

Os riscos identificados foram especificados em nove categorias, sendo quando necessário subdivididos de forma ainda mais específica, totalizando assim 40 incertezas. A Tabela 1 mostra as incertezas levantadas.

Tabela 1 - Tabela de identificação de riscos.

| Categoria | Nº | Evento do risco | Categoria | Nº | Evento do risco |
|------------------|-----------|--------------------------------------|------------------|-----------|------------------------------------|
| Política | R01 | Estrutura política fragmentada | Mercado | R21 | Elevados custos da mão de obra |
| | R02 | Instabilidade política | | R22 | Indisponibilidade da mão de obra |
| | R03 | Falta de incentivos do governo | | R23 | Falta de mão de obra qualificada |
| Economia | R04 | Flutuação de taxas e juros | | R24 | Fraca qualidade dos equipamentos |
| | R05 | Flutuação do valor de troca de moeda | | R25 | Elevados custos dos equipamentos |
| | R06 | Recessão econômica | | R26 | Indisponibilidade dos equipamentos |

| | | | | | |
|-------------------------|-----|--|----------------------|-----|--|
| Legibilidade | R07 | Reduzida maturidade do sistema legal | | R27 | Indisponibilidade de fornecedores |
| | R08 | Alterações da Legislação | | R28 | Elevada competitividade |
| | R09 | Burocracia excessiva | Projeto | R29 | Falta de especificação dos projetos e/ou informações incompletas |
| Finanças | R10 | Alta taxa de impostos | Projeto | R30 | Erros de projeto/Execução |
| | R11 | Capacidade financeira do dono da obra | | R31 | Falta de compatibilização do projeto existente com o atual |
| | R12 | Capacidade financeira dos empreiteiros | | R32 | Ausência de projeto estrutural, elétrico e hidrossanitário |
| | R13 | Capacidade financeira dos subempreiteiros | Obra | R33 | Diferenças encontradas no local da obra |
| | R14 | Não disponibilidade/acesso de crédito | | R34 | Não disponibilidade/acesso de crédito |
| | R15 | Falta pontualidade dos pagamentos por parte do cliente | | R35 | Patologias apresentadas |
| Fatores naturais | R16 | Condições do solo imprevistas | | R36 | Acidentes de trabalho |
| | R17 | Alagamento/chuvas intensas | Gerenciamento | R37 | Ausência de cronograma |
| Mercado | R18 | Fraca qualidade dos materiais | | R38 | Falta de controle dos processos, serviços, logística interna e externo |
| | R19 | Elevados custos de materiais | | R39 | Falhas no orçamento |
| | R20 | Indisponibilidade de materiais | | R40 | Falha na supervisão e gestão do ambiente de trabalho |

Diante dos riscos apresentados e por meio da classificação quanto ao impacto e probabilidade de cada risco feita pelo engenheiro responsável, é possível apresentar a matriz de impacto/probabilidade, avaliando assim o nível de todos os riscos elencados, conforme a Figura 6. Essa matriz ilustra toda a classificação e permite uma melhor visualização dos riscos que precisam ser tratados com mais prioridade.

| | | | | | | |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|--------------|--|-------------------------------------|-------------------------------|
| ↑ PROBABILIDADE | (5) MUITO ALTA | RM | RM | RA | R22; R23; R26; R35; R37 RE | R 29; R30; R31; R32; RE |
| | (4) ALTA | RB | RM | R04; R11; R15 RA | R19; R20; R24; R25; R34 RE | R33 RE |
| | (3) MÉDIA | R09 RB | RM | R05; R10; R12; R13; R14; R16; R17; R18 RM | R21; R27; R28; R39; R40 RA | RA |
| | (2) BAIXA | R01; R03; R06; R07 RB | RB | R36 RM | R38 RM | RM |
| | (1) MUITO BAIXA | R08 RB | RB | RB | RB | RM |
| | | (1) INSIGNIFI- CANTE | (2) FRACO | (3) MODERADO | (4) FORTE | (5) CATASTRÓ- FICO |
| | | IMPACTO → | | | | |

■ BAIXO (1-4)
 ■ MÉDIO (5-11)
 ■ ALTO (12-15)
 ■ EXTREMO (16-25)

Figura 6 - Matriz final de probabilidade e impacto.

Considerando individualmente cada categoria, na Política, tem-se riscos com uma baixa influência, ou seja, de acordo com a classificação feita pelo engenheiro da obra, essas não são situações que geram grandes prejuízos no tempo e custo da reforma. Conforme mostrado na Figura 7, mesmo que no geral a categoria seja de baixa influência, o risco mais expressivo é o evento relacionado a instabilidade política (R2), justamente pelo motivo do Brasil estar passando por uma mudança política, sendo o ano de 2022 eleição, o que gera choques governamentais que podem resvalar em outras áreas da economia e da sociedade.

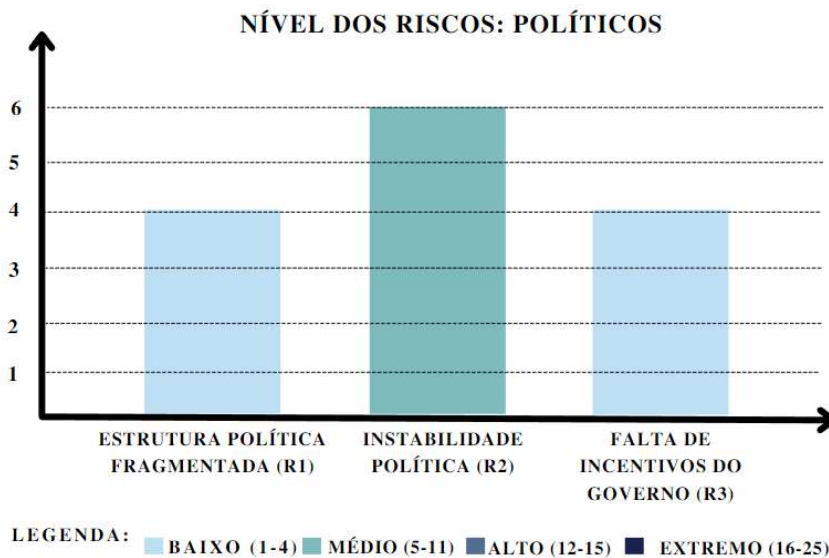


Figura 7 – Riscos políticos.

Na categoria Economia, o resultado obtido demonstrou consequências mais relevantes na reforma, como a flutuação de taxas e juros (R4) que contribui para o aumento da estimativa inicial dos custos da construção, causando incertezas no orçamento e podendo levar ao endividamento da empresa, similar ao obtido por Barreto e Andrey [7]. Por ser uma obra de menor porte, a flutuação da moeda (R5) e a recessão econômica (R6) não afetam expressivamente o resultado da obra. A Figura 8 a seguir mostra o nível do risco de cada evento.

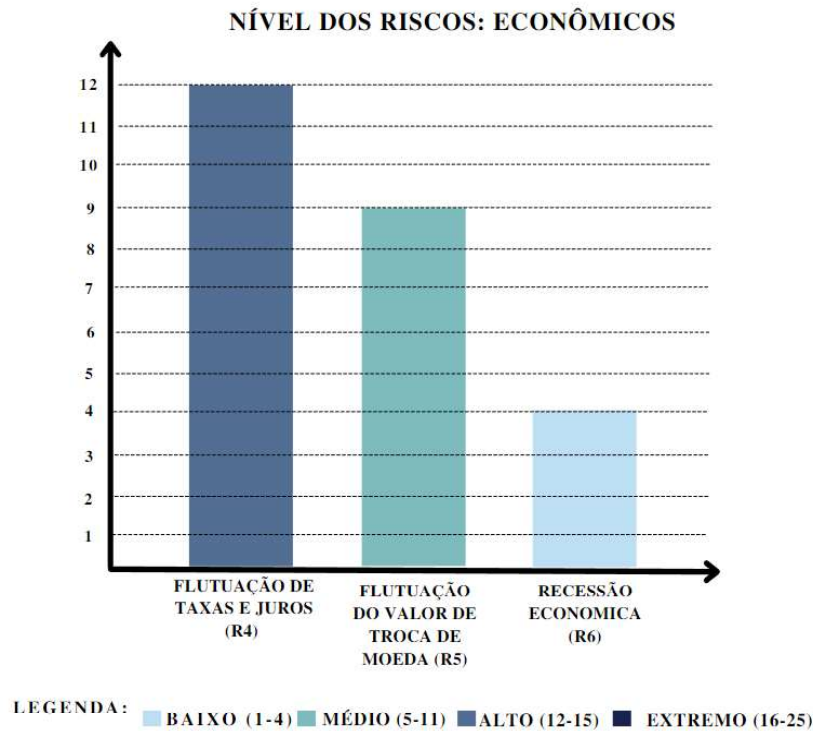


Figura 8- Riscos econômicos.

A categoria de Legibilidade também não gera um impacto e probabilidade muito expressivo, conforme Figura 9, uma vez que a obra analisada é privada e de pequeno porte, onde as questões burocráticas e legislativas apesar de presentes não são tão fortes como em uma obra de maior porte ou pública.

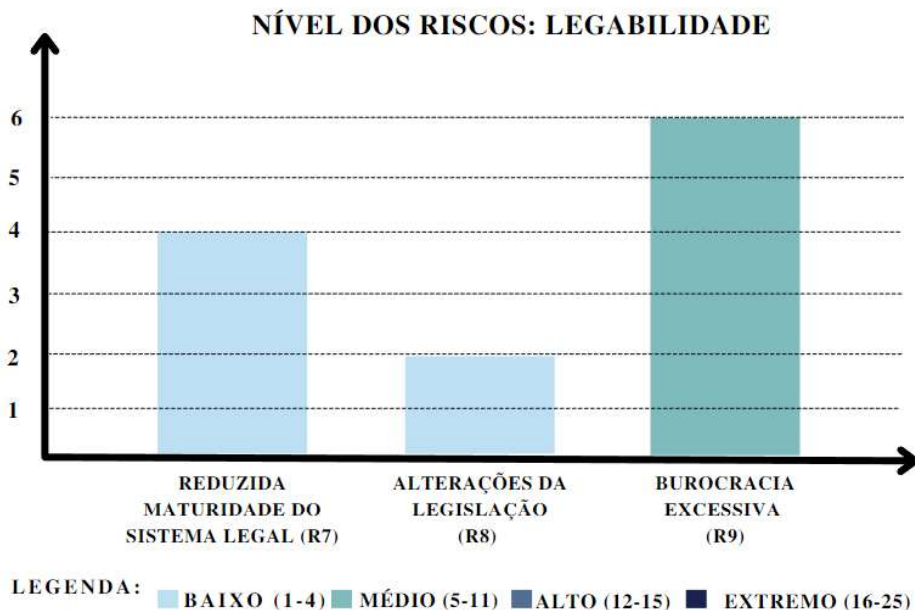


Figura 9 - Riscos legais.

A de Finanças teve como riscos considerados altos a capacidade financeira do dono da obra (R11) e a falta pontualidade dos pagamentos por parte do cliente (R15). Esses itens estão ligados à instabilidade financeira atual e ao fato de o contrato da reforma ser por administração. Isso também explica o fato da não disponibilidade e/ou acesso a créditos (R14) não ser um fator de alto risco, uma vez que a empresa não precisa ter um caixa disponível para cobrir a obra. Já a capacidade financeira dos empreiteiros (R12) e subempreiteiros (R13) não apresentam um nível relevante uma vez que as especificações de pagamentos e acordos são detalhadas em contratos. A Figura 10 demonstra os níveis dos itens.

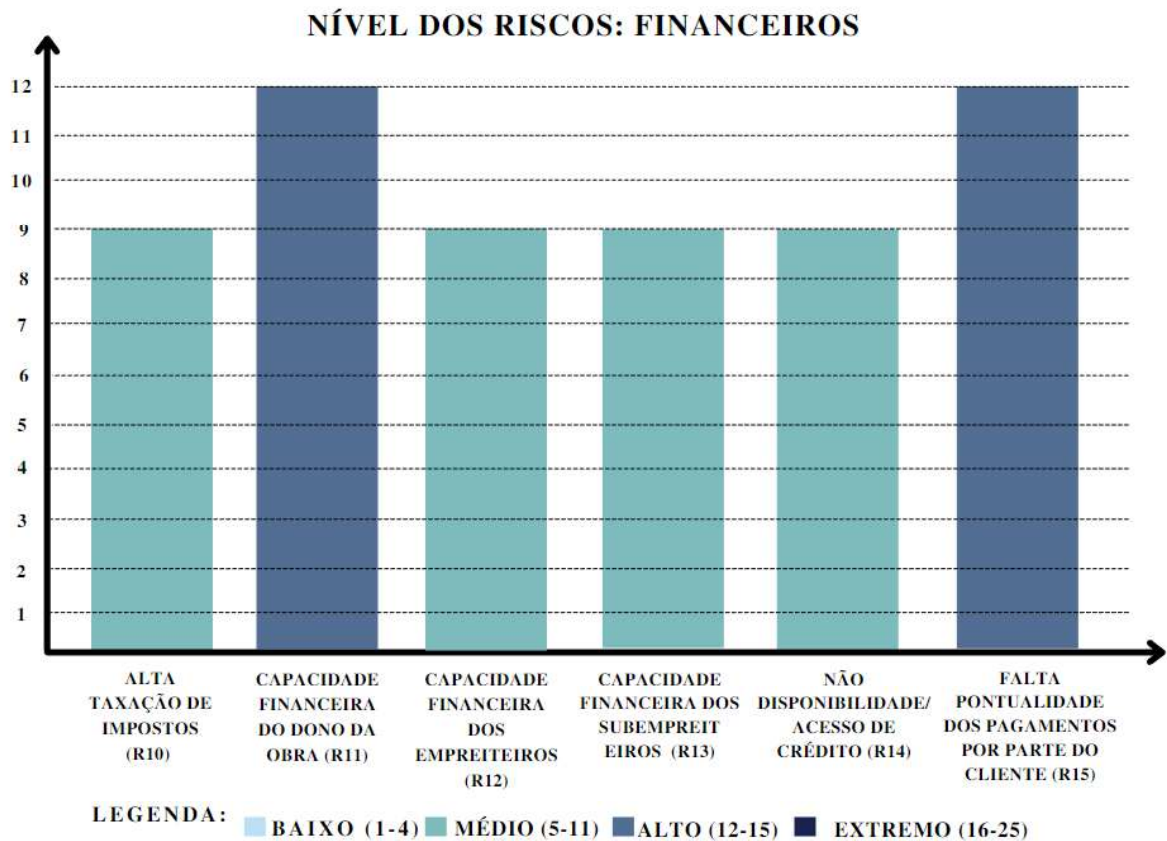


Figura 10 – Riscos financeiros.

Conforme apresentado na Figura 11, em relação aos Fatores Naturais, também se observou uma ausência de riscos com níveis expressivos, tanto a questão das chuvas (R17) como do solo (R16) é considerada de influência mediana no custo e prazo da obra, visto que a região não apresenta histórico de grandes desgastes com esses dois fatores. Além disso, por se tratar de uma reforma interna, onde grande parte da estrutura do telhado vai permanecer, as chuvas não irão interferir de forma significativa.

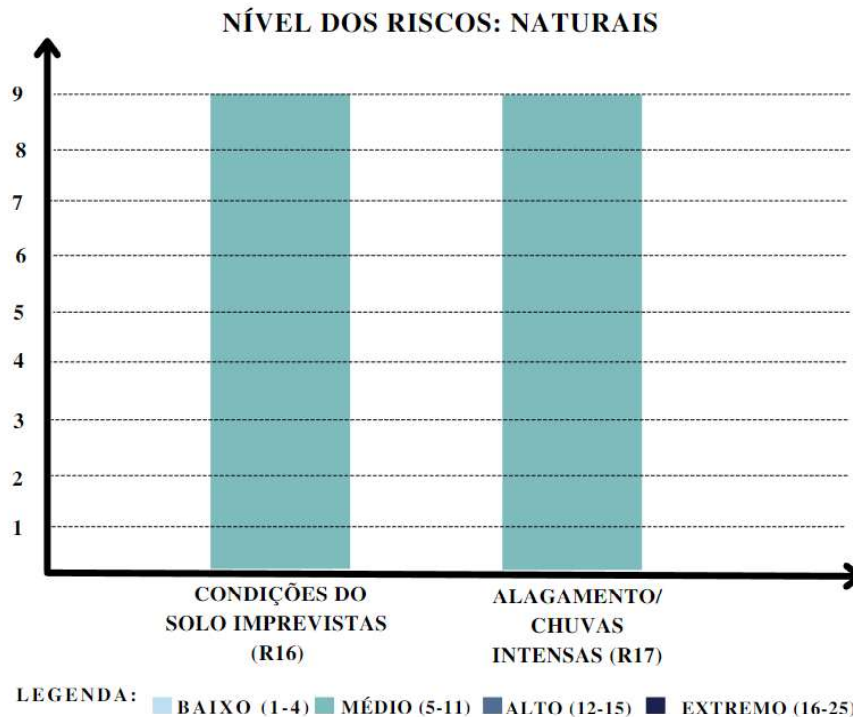


Figura 11 - Riscos naturais.

Dos 11 riscos elencados na categoria Mercado, apenas a qualidade dos materiais (R18) foi classificada como de nível médio, uma vez que, para o engenheiro da obra, o problema maior dos materiais é a disponibilidade (R20) e o custo (R19). Além disso, de acordo com o engenheiro da obra na cidade de Palmas em decorrência da pandemia, de questões de logística e do aquecimento do mercado da construção civil, a cidade enfrenta problemas com demanda e concorrência, logo os itens relacionados a mão de obra (R22;R23), equipamentos (R24;R25;R26) e fornecedores (R27) apresentaram os índices mais elevados, uma vez que refletem diretamente na qualidade, no prazo e no custo da obra. O gráfico da Figura 12 ilustra essas relações.

NÍVEL DOS RISCOS: MERCADO

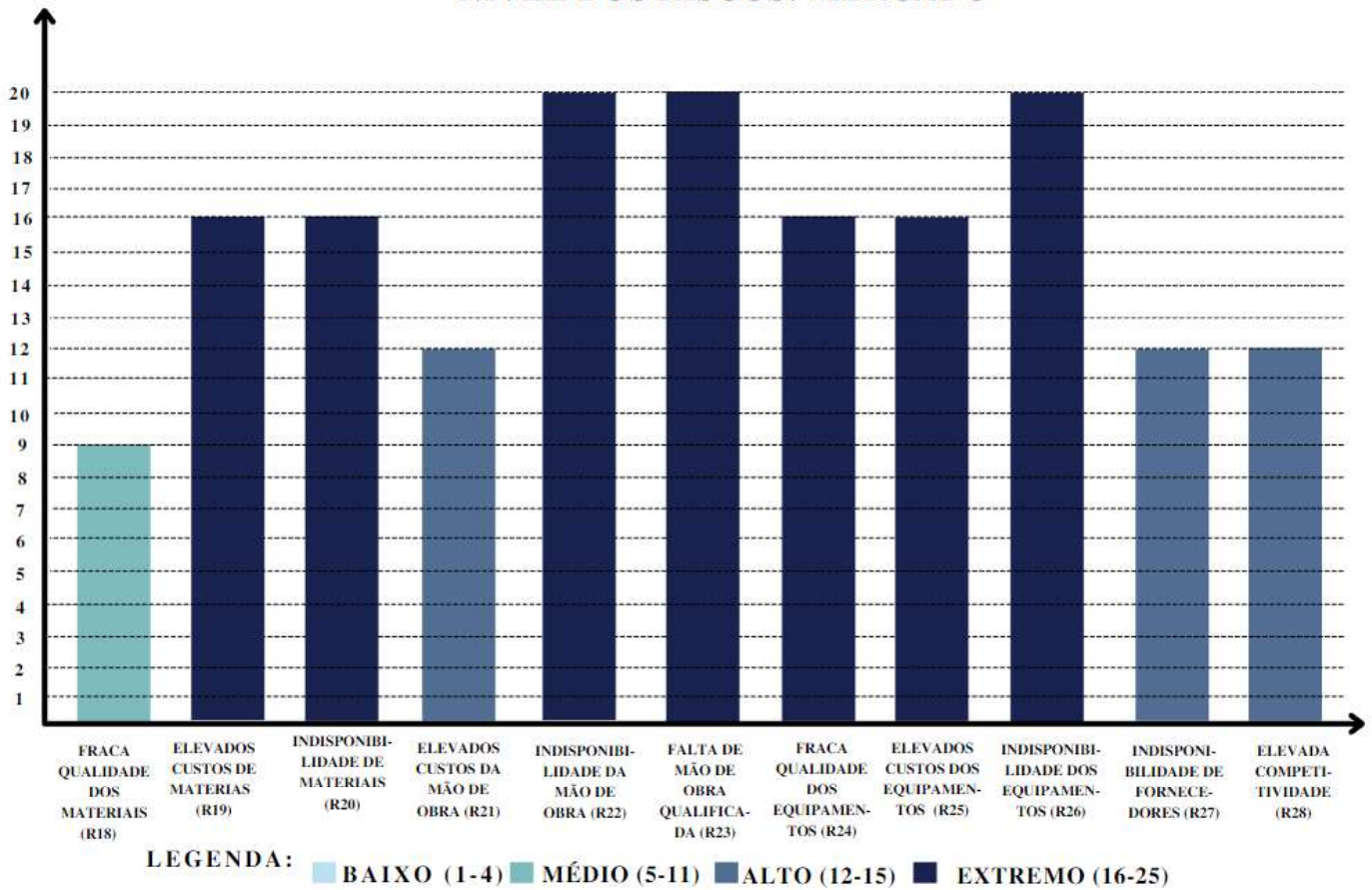


Figura 12 – Riscos de mercado.

De todas as categorias elencadas, a categoria de Projetos foi que obteve resultados mais críticos em relação ao grau de interferência que as incertezas podem causar na reforma, conforme Figura 13. No que diz respeito a essa análise observou-se que muitas vezes projetos com informações incompletas (R29) são consequências da falta de dados ou de comunicação entre as frentes de atuação, que geram uma execução com erros (R30) e custos para corrigir, podendo ainda atrasar o cronograma de obra conforme Camargo [8]. Ademais por ser uma reforma, a obra traz o agravante de já possuir um projeto desenvolvido in loco, que apesar de estar documentado por meio de um projeto arquitetônico, não possui os projetos elétricos, hidrossanitários nem estruturais (R31;R32), tornando ainda mais complexas as previsões de possíveis intervenções necessárias.

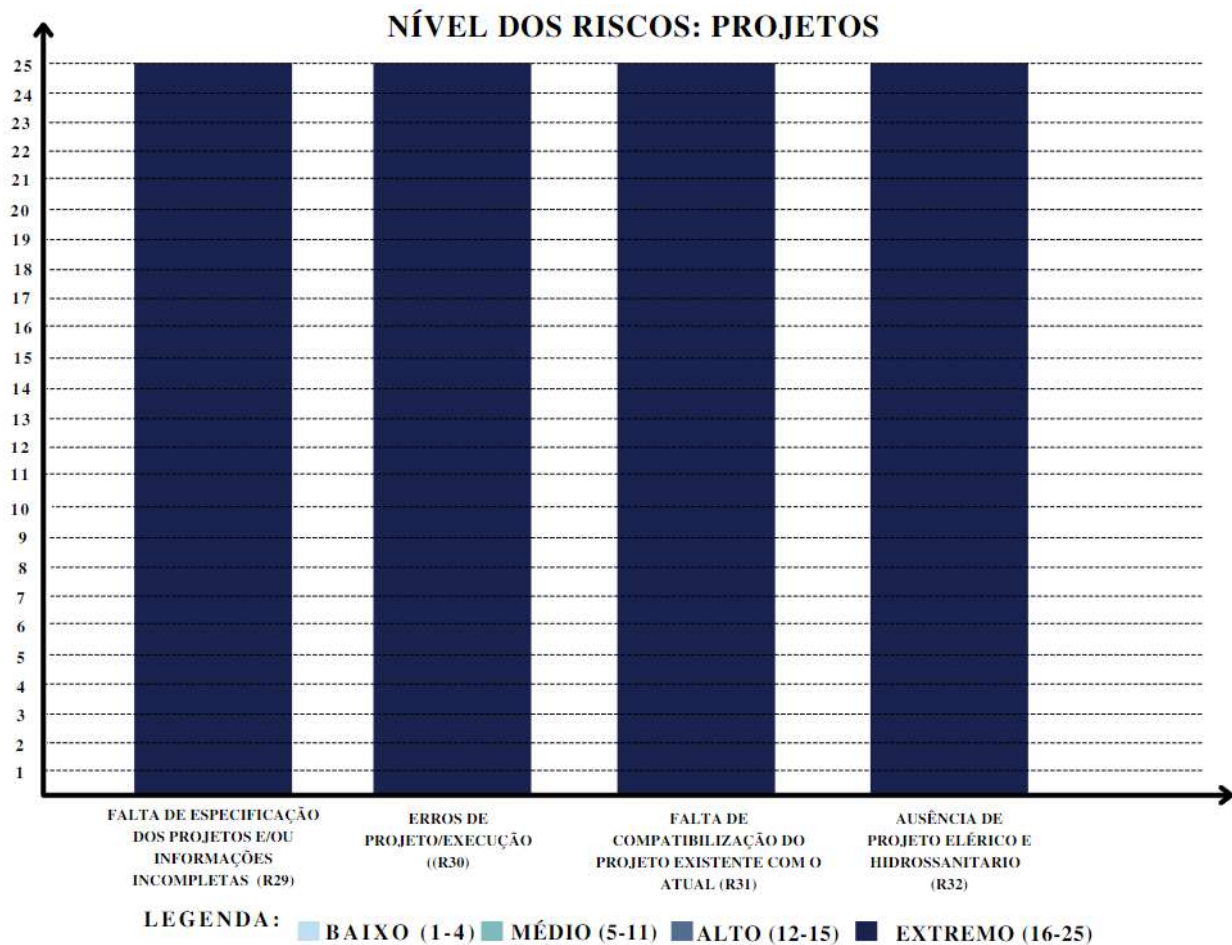


Figura 13 – Riscos de projeto.

Para a Obra, no que tange a execução observou-se que os riscos com índices mais significativos foram os diretamente relacionados com a construção existente e ausência de informações construtivas e de projetos relacionadas a essa (R33;R34). Além disso, foram apontadas pelo engenheiro algumas patologias existentes (R35), como infiltrações, fissuras e trincas, que comprometem o custo e o cronograma previsto em obra, uma vez que precisam ser tratadas. No que diz respeito a segurança de trabalho (R35) o risco foi considerado médio, uma vez que se trata de uma obra de pequeno porte, térrea, que não utilizará equipamentos muito específicos. A Figura 14 apresenta os níveis de riscos coletados.

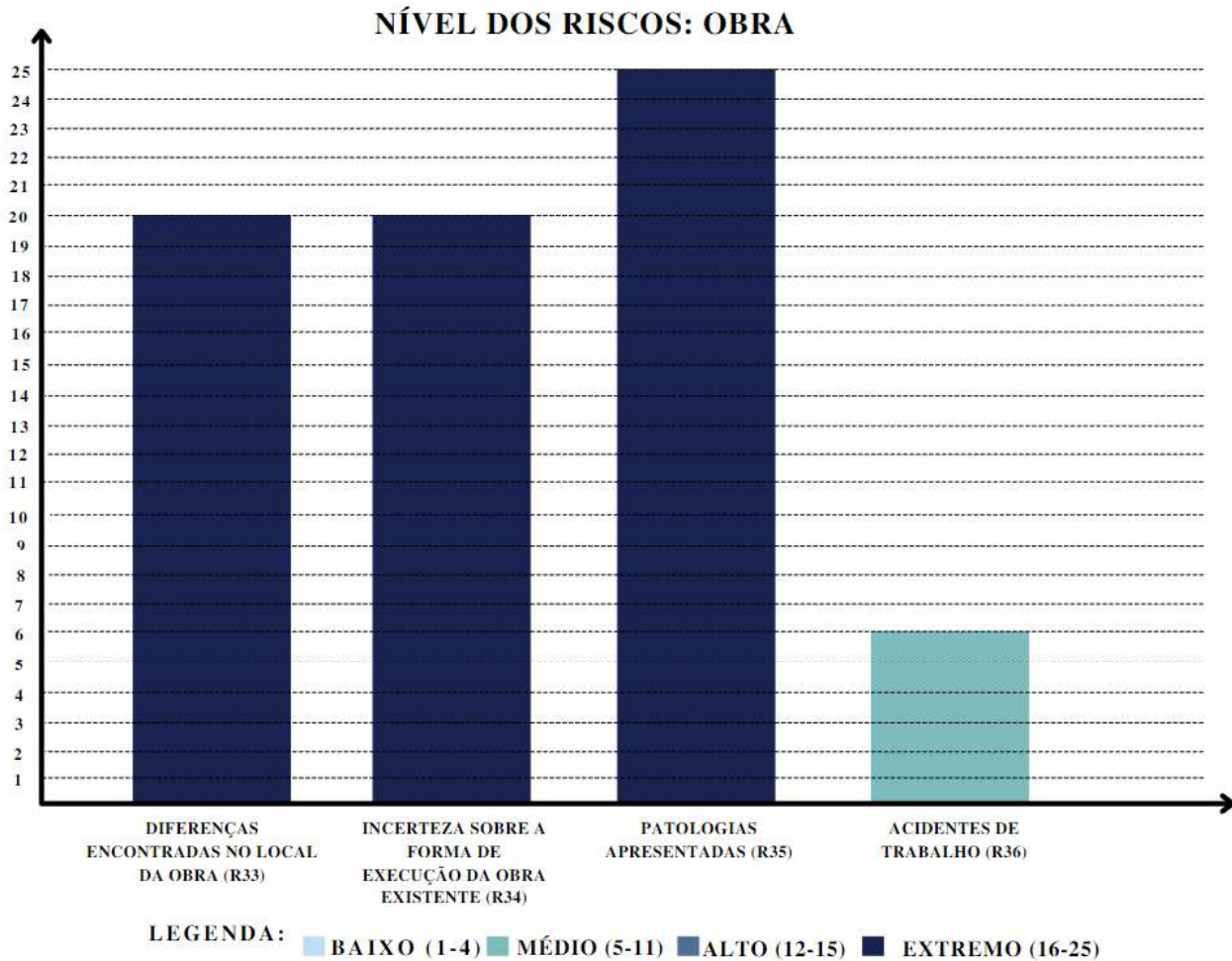


Figura 14 - Riscos de obra.

Na Figura 15, em Gerenciamento, tem como riscos de alto nível as falhas de orçamento (R39) e de supervisão de obra (R40). Essa classificação é em decorrência ao fato de que de acordo com o engenheiro a reforma não possui orçamento analítico, apenas orçamento pontual de itens de mais relevância e prioridade. Já em relação a supervisão falta experiência (R38) profissional pra lidar e gerir com as demandas e conflitos da obra, o que pode ocasionar erros, retrabalho, atrasos e custos a obra, afetando diretamente o controle dos processos e logística. A ausência de cronograma (R37) foi considerada como um risco extremo, uma vez que o cronograma é o parâmetro que irá determinar se a obra está avançando ou não dentro do que foi previsto e serve de controle em relação a ordem que os processos e atividades devem ser executadas.

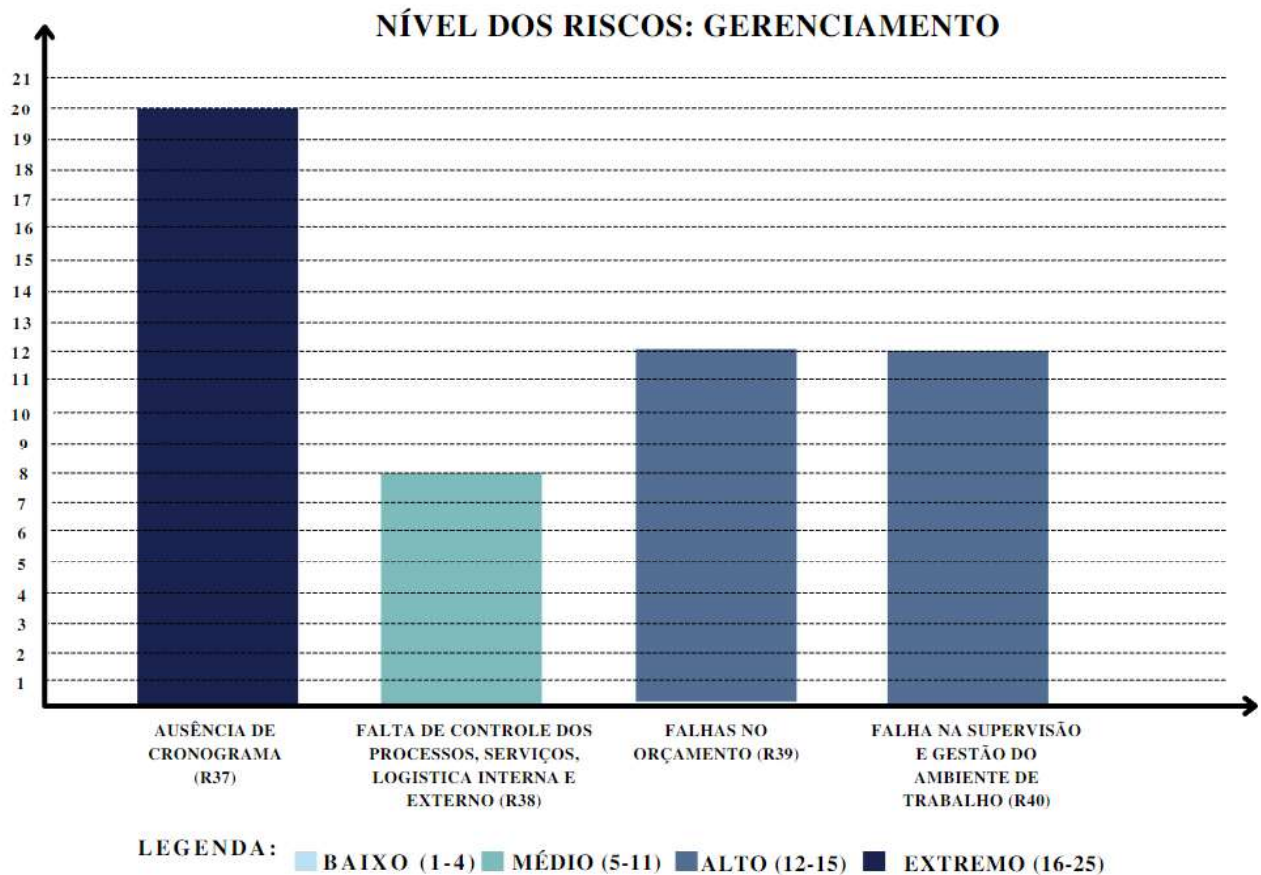


Figura 15 - Riscos de gerenciamento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa em questão objetivou a análise da importância da implementação da política de gestão de riscos na construção civil, por meio de uma aplicação prática do processo em uma obra residencial multifamiliar. Ademais, partiu-se do pressuposto de que uma obra de pequeno porte também apresenta eventos nos quais devem ser mitigados pois impactam negativamente no planejamento dessa.

Por meio dos dados coletados, constatou-se que em as categorias como Mercado, Projetos e Obras, foram as mais relevantes no que diz respeito ao nível dos riscos, pois apresentaram o maior número de riscos extremos. São as categorias que necessitam de maior atenção e planejamento por parte dos engenheiros e responsáveis pela obra, bem como falta um cronograma personalizado e um cronograma analítico.

Ao contrário das citadas anteriormente, as categorias de incerteza Políticas, Legais e Naturais apresentaram os índices menos relevantes, com níveis baixos ou médios, onde não seriam necessárias políticas de intervenções. Isso foi justificado pelo fato de a obra ser de pequeno porte, apenas uma reforma interna, onde certas gestões públicas, burocracias e mudanças climáticas não afetam de maneira expressiva. As demais categorias apresentaram uma combinação de riscos altos e baixos a depender pontualmente do que foi apresentado.

Por fim, a partir da pesquisa foi possível mostrar que a implementação prática da gestão de riscos não é algo complexo, mas que pode poupar muitos inconvenientes, sendo um processo passível de ser adotado em todos os tipos de obra. Além disso, cada obra é única portando é necessário efetuar análises individuais para assim atingir os objetivos desejados.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 31000: **Gestão de riscos - Diretrizes**. Rio de Janeiro, 2018.
- [2] BRASIL. Lei nº 14.133, de 1 de abril de 2021. **Lei de Licitações e Contratos Administrativos**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14133.htm. Acesso em: 12 out. 2021.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR IEC 31010. **Gestão de riscos - Técnicas para o processo de avaliação de riscos**. Rio de Janeiro, 2021.
- [4] SILVA, V. F. **Análise de risco na construção: guia de procedimentos para gestão**. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 75 p, 2012.
- [5] BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública. **Manual de Gerenciamento de Riscos e Controles Internos**. Ministério da Justiça e Segurança Pública. 2. ed. Brasília: Assessoria Especial de Controle Interno, 2020. 66 p. Disponível em: <<https://www.justica.gov.br/Acesso/governanca/gestao-de-riscos>>. Acesso em: 19 set. 2021.
- [6] _____. Resolução nº 2, de 10 de abril de 2018. **Diretrizes Para Gerenciamento de Riscos e Controles Internos**, Ministério da Justiça, Brasil.
- [7] Barreto, F; Andery, P. (2014). **Caracterização da concepção de projetos em incorporadoras sob a ótica da gestão de riscos**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, v. 15, n. 1, p. 1167-1176.
- [8] CAMARGO, G. O. **Apreciações acerca de análise de riscos para gestão em obras públicas**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 65 p. 2019.

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO

ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE PLANEJAMENTOS DE FASE PARA UMA OBRA RESIDENCIAL MULTIPAVIMENTOS EM JOINVILLE - SC

DEMÉTRIO, Luiza Kaiser¹; ONEDA, Tânia Mara Sebben²

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, Brasil, luukaiser@outlook.com

² Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, Brasil, taniamarasebben@hotmail.com, 0000-0002-8033-3408

RESUMO

Devido à falta de eficiência, constância e padronização nos serviços da construção civil, diversas construtoras, incorporadoras e empreiteiras procuram alternativas para melhorar sua performance no mercado e despertar a competitividade. A construção enxuta é uma alternativa de produção que traz competitividade às empresas de construção civil, trazendo benefícios como a diminuição de desperdícios, aumento de produtividade, redução de custos, cumprimento de prazos e a redução da variabilidade dos processos no canteiro de obras. Este artigo tem como objetivo a análise do planejamento de fase baseado nos conceitos de construção enxuta e a sua aplicação em uma obra residencial no município de Joinville-SC. O estudo foi feito para os serviços de estrutura, alvenaria e instalações, através da criação da linha de balanço, planejamentos de fase e acompanhamento do índice do percentual de plano cumprido (PPC). Diante da observação diária das atividades, foram observadas discrepâncias entre o planejado e o executado, desperdícios foram constatados, assim como processos, transportes e estoques desnecessários. Alterações foram propostas visando cumprimento de prazos, otimização de serviços e melhoria na qualidade do produto entregue.

Palavras-chave: Construção Enxuta; Planejamento; Execução de Obras.

ABSTRACT

Due to the lack of efficiency, constancy and standardization in construction services, several construction companies, developers and contractors seek alternatives to improve their performance in the market and awaken competitiveness. Lean construction is a production alternative that brings competitiveness to construction companies, bringing benefits such as reduced waste, increased productivity, reduced costs, meeting deadlines and reducing the variability of processes in the construction site. This article aims to analyze phase planning based on lean construction concepts and its application in a residential construction site in the municipality of Joinville-SC. The study was carried out for the services of structure, masonry and facilities, through the creation of the balance line, phase planning and monitoring of the index of the percentage of plan fulfilled (PPC). Given the daily observation of the activities, discrepancies were observed between planned and executed, waste was observed, as well as unnecessary processes, transport and inventories. Changes were proposed aiming at meeting deadlines, optimizing services and improving the quality of the product delivered.

Keywords: Lean Construction; Planning; Execution of Constructions.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das indústrias mais antigas e mais tradicionais quando comparada aos demais setores industrializados [1]. É um setor de extrema importância no Brasil e no mundo, sendo considerado por muitos o termômetro da economia. Entretanto, Canuso [2] afirma que o desperdício nas obras ainda é enorme, além da perda de material, tem-se perda de tempo, mão-de-obra, transportes, que afetam diretamente a produtividade da construção.

Devido à falta de eficiência, constância e padronização nos serviços da construção civil, diversas construtoras, incorporadoras e empreiteiras procuram alternativas para melhorar sua performance no mercado e despertar a competitividade. Por isso, a busca por processos mais eficientes e com menor nível de desperdícios é o objetivo das empresas que querem se posicionar à frente do desenvolvimento tecnológico do setor [3]. Em um cenário de concorrência o preço e prazo de entrega passam a ser determinantes para que a empresa se mantenha no mercado [4].

É nesse contexto que a construção enxuta aparece como uma alternativa de produção que traz competitividade às empresas de construção civil [5]. Intitulada por Koskela [6], a construção enxuta (*lean construction*) é baseada no sistema Toyota de produção desenvolvido no Japão na década de 1950. Howell [7] afirma que o conceito tem como objetivo reduzir ao máximo as perdas decorrentes do processo de uma linha de produção através de técnicas específicas, atendendo com perfeição a requisitos e necessidades dos consumidores. Assim, traz benefícios como a diminuição de desperdícios, aumento de produtividade, redução de custos, cumprimento de prazos e a redução da variabilidade dos processos no canteiro de obras [8]. Para Arantes [9], a construção enxuta nada mais é do que a adaptação do conceito *lean production* à indústria da construção civil.

Este artigo tem como objetivo a análise do planejamento para determinadas fases da obra, baseado nos conceitos de construção enxuta e a sua aplicação em uma obra residencial multipavimentos. O estudo se justifica em função da competitividade do mercado, pois, para resistir a momentos de crise, construtoras, empreiteiras e incorporadoras precisam adotar estratégias que as mantenham no mercado.

2. A METODOLOGIA *LEAN*

O sistema *lean* possui conceitos que servem como base para o desempenho com maior excelência. A estabilidade, base da metodologia, permite um bom planejamento de produção e atendimento da demanda [10], trazendo previsibilidade e confiança para os planejamentos e para o canteiro como um todo. Utiliza métodos como o *Kaizen*, processo de melhoria contínua alcançada através de todas as ações diárias que permitam aos processos e à empresa serem mais competitivos na satisfação do cliente [11], e *Heijunka*, nivelamento do tipo e da quantidade de produção durante um período de tempo fixo [12].

Já o conceito *Just in Time* visa garantir que os clientes sejam atendidos no momento certo, na quantidade necessária, com produtos da mais alta qualidade e através de um processo produtivo que utilize o mínimo estoque possível e que seja encontrado livre de qualquer tipo de desperdício ou custo desnecessário [11].

O conceito de *Last Planner*, de acordo com Riffel [13], consiste em um método onde é feita a gestão de prazos para os processos de produção que visam aumentar a eficiência do fluxo de operações através dos níveis de planejamento de longo, médio e curto prazos.

Lucena e de Melo Pedroso [14] afirmam que para tornar a metodologia da Construção Enxuta mais presente no canteiro de obras, é necessário que os engenheiros que atuam como gestores façam a otimização dos processos, eliminação de desperdícios com a utilização de ferramentas aplicáveis da construção enxuta, como por exemplo *Kaisen*, *Last Planner* e a metodologia do 5S.

3. METODOLOGIA

O artigo baseia-se em um estudo de caso em uma obra residencial multipavimentos em Joinville - SC. Trata-se de uma edificação de alto padrão com 15 pavimentos e 6.567 m² de área total. Foram selecionados três serviços para análise: estrutura, alvenaria e instalações. O principal índice analisado foi o percentual de plano cumprido (PPC) que é dado em porcentagem e é calculado pela divisão entre o que foi realizado e o planejado, almejando alcançar a estabilidade dos dados.

Primeiramente foi criada a linha de balanço do empreendimento, através da observação das sequências construtivas e prazos de entrega de cada serviço com auxílio da plataforma *Previson*. Na sequência, foi elaborado o planejamento de fase para cada serviço selecionado, com acompanhamento diário das atividades realizado manualmente com o auxílio de planilhas do *excel*. Na terceira etapa foram confeccionados os PPCs e analisadas as possíveis falhas na execução do planejamento. No caso de divergências, novos planos foram confeccionados com propostas de melhorias, baseados nos conceitos *lean* como melhoria contínua, redução de estoques, alteração de processos, *last planner* e a metodologia 5S.

4. RESULTADOS

4.1 Linha de Balanço

A linha de balanço do empreendimento foi criada no início das operações no canteiro de obras através da plataforma *Prevision*. Toda a distribuição dos serviços foi feita evidenciando o melhor sequenciamento das atividades. Para os pavimentos tipo, todos os serviços selecionados (estrutura, alvenaria e instalações) possuíam duração de dez dias. A linha de balanço também tinha algumas pequenas folgas para ocasionais atrasos, como mostra a Figura 1.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-------------|-------------|
| 15º PAV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14º PAV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13º PAV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | EST. | | |
| 12º PAV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESTRUTURA | | |
| 11º PAV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESTRUTURA | | |
| 10º PAV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESTRUTURA | | |
| 9º PAV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESTRUTURA | | |
| 8º PAV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ALVENARIA | | |
| 7º PAV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ALVENARIA | | |
| 6º PAV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ALVENARIA | INSTALAÇÕES | |
| 5º PAV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESTRUTURA | INSTALAÇÕES | |
| 4º PAV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESTRUTURA | ALVENARIA | INSTALAÇÕES |
| | 08 - 14 | 15 - 21 | 22 - 28 | 29 - 04 | 5 - 11 | 12 - 18 | 19 - 25 | 26 - 02 | 03 - 09 | 10 - 16 | 17 - 23 | 24 - 30 | 31 - 06 | 07 - 13 | 14 - 20 | 21 - 27 | 28 - 04 | 05 - 11 | 12 - 18 | | |
| | mar/21 | mar/21 | mar/21 | abr/21 | abr/21 | abr/21 | abr/21 | mai/21 | mai/21 | mai/21 | mai/21 | mai/21 | jun/21 | jun/21 | jun/21 | jun/21 | jun/21 | jun/21 | jun/21 | jun/21 | |

Figura 1 - Linha de Balanço.

Diversas foram as ações *lean* implementadas na obra, tendo como guia os princípios da construção enxuta. A primeira delas foi introduzir reuniões de controle de produção e planejamento da obra a médio e curto prazo. Essas reuniões a curto prazo ocorriam semanalmente com objetivo de levantar as atividades efetuadas na semana corrente e programar as da semana seguinte. Já as reuniões de médio prazo aconteciam quinzenalmente e tinham como objetivo visualizar todos os serviços que estavam programados nas oito semanas seguintes, para que fossem organizadas as equipes atuantes e os materiais necessários. Todas as reuniões interagem com o planejamento de longo prazo da obra, fixado na sala da engenharia, baseado no conceito *Last Planner*.

4.2 Estrutura

No início da análise, a estrutura estava no quinto pavimento. O escoramento utilizado era metálico, a laje era nervurada com blocos de EPS e a concretagem de pilares, vigas e laje era feita em etapa única. Para elaboração do planejamento, foi necessário levantar todas as atividades realizadas, desde o primeiro dia do ciclo até a concretagem da laje (décimo dia do ciclo) e assim, elaborou-se o planejamento de fase para 10 dias.

Fez-se o acompanhamento diário de todas as atividades e equipes envolvidas e mediu-se o PPC. No final do primeiro ciclo analisado, o PPC estava 100%, ou seja, todas as atividades planejadas foram executadas. Porém, o oitavo e nono dia do ciclo foram muito movimentados na laje, com a execução de diversos serviços e diferentes equipes trabalhando juntas. Dessa forma, notou-se que a troca de um carpinteiro por um armador adiantaria atividades e a equipe de serviços hidrossanitários conseguiria trabalhar na laje a partir do sexto dia, evitando a movimentação extrema do final do ciclo.

Além disso, eram utilizados dois traços de concreto: um mais fluido, utilizado em pilares e outro mais denso, utilizado em vigas e lajes. Essa alternância de traços atrasava a concretagem pela logística da movimentação sobre a laje. Essa situação foi relatada ao projetista da estrutura que concordou em utilizar apenas um traço, o mais fluido. Assim, foram feitas alterações no ciclo de trabalho da estrutura e implementadas para o sexto pavimento. No ciclo do sexto pavimento, o PPC das equipes foi 100% mas notou-se a dificuldade de efetuar a limpeza da laje devido ao EPS. Como as passagens elétricas eram feitas sobre a laje, era necessário cortar os blocos de isopor para a passagem das tubulações, como mostra a Figura 2. Para o próximo ciclo, esse serviço foi alterado para serem feitos por baixo da laje. Obteve-se um resultado

positivo, pois além de um ambiente mais limpo, foi necessário apenas um dia de trabalho dos mesmos dois eletricitistas para concluir o planejado. A Figura 3 evidencia o efeito dessa alteração.

Na etapa analisada da estrutura, nota-se que os prazos de execução estavam sendo cumpridos, porém, algumas alterações no processo foram necessárias a fim de melhorar a qualidade do serviço e as interferências entre as etapas envolvidas, melhorando o todo.



Figura 2 - Passagens elétricas feitas sobre a laje.



Figura 3 - Passagens elétricas feitas por baixo da laje.

Os resultados corroboram com Shaqour [15] que, em seu estudo com cento e sessenta e dois profissionais da construção no Egito, concluiu que as abordagens de construção enxuta são essenciais para reduzir o desperdício e melhorar o desempenho no setor de construção. A adoção de ferramentas enxutas no setor de construção afeta positivamente no tempo, custo, qualidade, segurança e meio ambiente [15].

4.3 Alvenaria

O serviço da alvenaria foi iniciado no quarto pavimento, sendo este o primeiro tipo da edificação. Cada pavimento tipo possui quatro apartamentos. A alvenaria especificada era do tipo bloco cerâmico, nos elevadores, blocos de concreto e na divisa dos apartamentos bloco sical e manta acústica. O tempo de ciclo determinado pela linha de balanço era dez dias e foi elaborado o planejamento de fase para a alvenaria, onde cada equipe era formada por dois colaboradores.

Utilizando o acompanhamento diário das tarefas programadas, no terceiro dia do ciclo foi constatado que a produção não se mostrava suficiente. Ao final do primeiro ciclo, o PPC foi de 70%. Foi observado também o grande estoque de tijolos que era feito na edificação pois o fornecedor descarregava o material em um local intermediário com auxílio de caminhão munck. Assim, foi sugerido que o recebimento dos blocos cerâmicos fosse feito diretamente no pavimento de uso, sem passar por um estoque intermediário, eliminando-o.

Para o segundo ciclo de trabalho, houve acúmulo de atividades para cumprimento do cronograma e resultou um PPC de 70%, sendo concluído em catorze dias. Para solucionar o problema foi feita uma reunião com o empreiteiro ressaltando a importância da aderência ao cronograma e sugeriu-se a admissão de mais uma equipe para o serviço, que foi acatado. Outro fator que prejudicou a execução foram as alterações na alvenaria provocadas pela personalização dos proprietários dos apartamentos. Para agilizar a visualização dos projetos, foram adotados QR Codes que ficavam fixados no acesso dos apartamentos e também no térreo (Figura 4). Alguns funcionários estranharam e não estavam acostumados com essa tecnologia.

Para o próximo pavimento o planejamento foi refeito com o tempo do ciclo diminuído para nove dias, a fim de reduzir o atraso ocasionado pelo ciclo anterior. Notou-se uma expressiva melhora quanto ao cumprimento das atividades, sendo que o pavimento foi executado no prazo. Porém, a nova equipe de trabalho contratada deixou a desejar na qualidade do serviço. A Figura 5 evidencia a baixa qualidade do assentamento de tijolos cerâmicos.



Figura 4 - Exposição de QR Codes dos projetos.

O serviço com baixa qualidade teve que ser refeito e foi realizado um treinamento com o encarregado da alvenaria, mostrando os padrões de qualidade e as exigências quanto à execução do pavimento. Ainda no que diz respeito à qualidade dos serviços, foi exigido que o encunhamento das paredes fosse feito com bisnaga (Figura 6), para garantir o total preenchimento da espessura.



Figura 5 - Baixa qualidade da alvenaria.

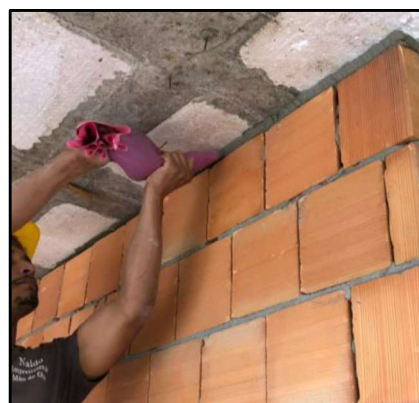


Figura 6 – Encunhamento.

Para o ciclo de trabalho seguinte, foi mantido o planejamento de fase com nove dias, prezando pela qualidade dos serviços e cumprimento dos prazos. Desta vez, após o treinamento do encarregado, os serviços estavam melhores, apresentando paredes bem assentadas e encunhadas, atendendo às exigências e padrões da construtora. Na etapa da alvenaria, nota-se a melhoria através da redução dos estoques desnecessários, treinamento dos funcionários, transparência dos projetos através do uso da tecnologia com os QR Codes e planejamento para recuperação do atraso da etapa.

Esses resultados foram parecidos com os obtidos por da Costa, da Silva e dos Santos [16] que estudaram uma construtora no Rio de Janeiro - RJ. Os autores concluíram que o pensamento enxuto aplicado desde o início da obra, possibilitou um planejamento mais assertivo e evitou retrabalhos e pausas que pudessem diminuir a produtividade. Assim, foi possível interferir diretamente no andamento da obra, trazendo qualidade e produtividade.

4.4 Instalações elétricas e de comunicação

A equipe de instalações elétricas e de comunicação era formada por dois funcionários e seu tempo de ciclo determinado pela linha de balanço era de dez dias úteis. No primeiro ciclo de trabalho, a equipe apresentou dificuldade em acompanhar os projetos pelos QR Codes e além disso, foram encontradas divergências de projetos e empecilhos na hora da execução,

como caixas elétricas alocadas em pilares e vergas. No primeiro ciclo de trabalho o PPC foi igual a 68,75%. As causas do não cumprimento do cronograma planejado foram alterações e atrasos na definição dos projetos e falta de mão de obra especializada.

Devido à escassez de mão de obra no mercado, o empreiteiro comunicou que não conseguiria trazer novos colaboradores e desta forma o pavimento foi concluído em dezesseis dias trabalhados. Para melhorar o prazo de execução, foram adquiridos dois tablets para auxiliar os funcionários na visualização dos projetos e solicitado o auxílio do empreiteiro.

No segundo ciclo de trabalho, o PPC alcançado foi de 100%. Mesmo assim, notou-se que os funcionários gastavam muito tempo com o transporte dos materiais, pois era feito em pequenas quantidades por vez. Portanto, foi adquirido um carrinho de duas rodas e adaptado um baú para transporte de maior quantidade de materiais, conforme Figura 7.

Para o ciclo de trabalho seguinte, o planejamento de fase continuou o mesmo (dez dias) para verificar a estabilidade da equipe. O PPC foi de 100% e neste ciclo de trabalho foi testado um outro modelo de caixas elétricas 4x2 de parede, conforme Figura 8. A instalação deste modelo é facilitada por utilizar uma serra copo para abertura na alvenaria, agilizando o processo, diminuindo os resíduos e evitando entupimento por reboco.



Figura 7 - Carrinho adaptado.



Figura 8 - Caixa elétrica 4x2 de parede.

No ciclo de trabalho seguinte, o planejamento de fase foi diminuído para oito dias a fim de recuperar o atraso dos ciclos anteriores. Com as ações implantadas, o pavimento foi entregue em oito dias trabalhados, assim como planejado e o PPC ficou em 100%. Nota-se que na etapa de instalações elétricas foram necessárias ações para recuperação do prazo de execução da etapa, treinamento dos funcionários para uso dos tablets, alteração de materiais e adaptação do carrinho existente. SCHOLTEN, *et al* [17] verificaram que a obra com o processo *lean* é executada mais rápido e perde menos prazos na semana e no acumulando ao longo do mês em comparação a uma obra convencional.

4.5 Outras Instalações

Para concluir o serviço de instalações, mais uma equipe trabalhou na obra. Essa equipe era responsável pelas instalações hidráulicas, sanitárias, gás, preventivo de incêndio e infraestrutura para ar condicionado. Para executar todas essas instalações, inicialmente foi prevista a execução com dois funcionários em dez dias úteis, mas verificou-se que a equipe ficaria sobrecarregada. Mais funcionários foram solicitados e o empreiteiro acatou para o próximo ciclo.

No primeiro ciclo de trabalho, assim como nas instalações elétricas, houve um estranhamento inicial quanto aos projetos no formato de QR Code e os funcionários foram treinados para usar essa tecnologia nos ciclos seguintes. Além disso, o empreiteiro estudou os projetos previamente para facilitar a execução do serviço, mas o ciclo foi concluído em vinte dias trabalhados, o dobro do que foi programado. Foi confirmada a necessidade de mais funcionários para cumprir o cronograma conforme solicitado.

Para o segundo ciclo, a equipe contava com quatro trabalhadores e o planejamento de fase inicial (dez dias) foi mantido. A partir desse momento, além de um estudo preliminar dos projetos, também foi feita uma bancada para a montagem prévia de tubos e conexões no térreo, eliminando excessos de materiais no pavimento de trabalho.

No próximo ciclo de trabalho iniciou-se uma discussão sobre um plano de recuperação que trouxesse novamente as atividades ao prazo do cronograma. O pavimento foi concluído dentro do prazo, mas foi observado que os funcionários perdiam tempo para fazer a distribuição aérea, pois subiam e desciam a escada várias vezes para fazer a fixação da tubulação na laje dos apartamentos. Para otimizar o processo, foi adquirido um equipamento similar a um andaime com rodas.

Para o quarto ciclo de trabalho foi sugerido um novo planejamento de fase focado na recuperação dos prazos. Com a contratação de mais um funcionário, o serviço foi concluído em oito dias conforme o planejado. Nota-se que nesta etapa foram utilizados os conceitos da melhoria contínua através da observação diária dos serviços. Medidas como a bancada para instalações hidráulicas no térreo, o estudo preliminar do projeto, o andaime com rodas e treinamento dos funcionários foram necessárias, além do plano para recuperação do prazo de execução.

5. CONCLUSÃO

O presente artigo teve por objetivo analisar a elaboração e implementação de planejamentos de fase em três serviços (estrutura, alvenaria e instalações) de uma obra multipavimentos baseados nos conceitos de *lean construction*. De forma geral, ações *lean* implantadas na obra colaboraram para uma melhor gestão, organização e limpeza, garantindo o cumprimento dos prazos de execução.

Atividades que não agregam valor ao produto final como transportes, estoques e processos desnecessários foram eliminados através da observação das atividades. Além da compra de equipamentos que auxiliam no transporte de insumos, também foi feito um estudo do layout do canteiro para que a descarga dos materiais fosse mais próxima do local de aplicação ou armazenamento.

Conclui-se que a aplicação da técnica trouxe diversos benefícios, como melhora da qualidade dos serviços executados, cumprimento dos prazos, recuperação de dias de atraso, otimização dos procedimentos, redução de desperdícios e principalmente houve um maior controle da produção para os gestores da obra. Com a confecção dos planejamentos e o acompanhamento diário das atividades, foi possível identificar problemas e desvios de cronograma antecipadamente, a tempo de serem recuperados.

REFERÊNCIAS

- [1] SATO, L. **A evolução das técnicas construtivas em São Paulo: residências unifamiliares de alto padrão**. 2011. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2011.
- [2] CANUSO, F. Gestão da produtividade na construção traz eficiência para a obra. **Ambar**, 2019. Disponível em: <https://ambar.tech/2019/09/11/gestao-da-produtividade-na-construcao-civil-traz-eficiencia-para-a-obra/>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- [3] TEIXEIRA, F. C. Conheça os 11 Princípios do Lean Construction e sua Importância. **uBeton**, 2021. Disponível em: <https://www.ubeton.com.br/post/os-11-principios-do-lean-construction>. Acesso em: 29 jun. 2021.
- [4] MUNIZ, A. V.; SANTOS, S. M. dos; PESSOA, M. N. M.; NETO, J. D. P. B. Indústria da Construção Civil Subsetor Edificações: adaptação do custeio meta a essa atividade produtiva. 2007. **Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC**, [S. l.]. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/1627>. Acesso em: 28 jun. 2021.
- [5] CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Sondagem Indústria da Construção**. – Ano 7, Número 3, Publicação Online, 2016.
- [6] KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford Center for Facility Engineering, TECHNICAL REPORT 72, 1992, 75p.

- [7] HOWELL, G. A. What is lean construction. In: Seventh Conference of the International Group for Lean Construction, 1999, University of Berkeley, California, EUA. **Proceedings IGLC - 7**, p 10.
- [8] POINTER. Aprenda o que é construção enxuta e como colocar em prática na sua obra. **Pointer blog**, 2019. Disponível em: <https://pointer.com.br/blog/construcao-enxuta/>. Acesso em: 21 jun. 2021.
- [9] ARANTES, P. **Lean Construction - Filosofia e Metodologias**. 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2008.
- [10] BORBA, G. **Aplicação dos conceitos de produção enxuta no processo de fabricação de radiadores e condensadores automotivos**. Monografia (Especialista em Engenharia de Produção), Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- [11] RAPOSO, Deivid Castro; CARVALHO, Adrieli Cristina Vieira; HUNDELSHAUSSEN, Ricardo. **Avaliação da aplicação da construção enxuta em um projeto residencial em Macapá-AP**. Congresso de Construção Civil, Construção Unb, 2020. Disponível em: https://www.construcaounb.com.br/_files/ugd/88a9ac_030e937358a94281af1992e301cd5e74.pdf. Acesso em 04 set. 2022.
- [12] SANTOS, Virgilio Marques Dos. **O que é Heijunka? Como aplicar esse conceito do Lean?** 2017. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/o-que-e-heijunka-como-aplicar-esse-conceito-lean/>. Acesso em: 04 set. 2022.
- [13] RIFFEL, Elias. The precast construction industry and lean construction tools: flow-based management strategy. **Journal of Lean Systems**, v. 7, n. 2, 2022.
- [14] LUCENA, Arthur Felipe Echs; DE MELO PEDROSO, Caroline Thayse. Aplicação dos princípios da *lean construction* na Construção civil. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, n. 2, 2022.
- [15] SHAQOUR, E. N. The impact of adopting lean construction in Egypt: Level of knowledge, application, and benefits. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 2, p. 101551, 2022.
- [16] DA COSTA, Blenda Furtado; DA SILVA, Felipe Manoel Sampaio; DOS SANTOS, Mischelle Paiva. Filosofia Lean na Construção Civil. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 2, p. 09-43, 2022.
- [17] SCHOLTEN, Beatriz Perez *et al.* **Avaliação de ferramentas lean thinking na construção civil em obras de médio porte**. 2022. Disponível em: https://dspace.mackenzie.br/bitstream/handle/10899/29385/GRUPO%2037_p.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 03 set. 2022.

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

PARÂMETROS FUNDAMENTAIS NO CONTROLE DA MANUTENÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL COM AUXÍLIO DO BIM

DE LIMA MENESES ROMEIRO, Thália Raelly¹; VALADARES DE CASTRO, Wilamy²; MARQUES CARVALHO, Michele Tereza³

¹ Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, raellythalia20@gmail.com, 0000-0002-8299-1754

² Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, wilamycastro1@gmail.com, 0000-0001-5067-3607

³ Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, micheletereza@unb.br, 0000-0001-7969-9341

RESUMO

A realização adequada da manutenção das edificações e instalações faz com que o tempo de vida útil seja prolongado e a segurança dos usuários seja mantida. A complexidade e ineficiência na execução da manutenção são oriundas da falta de informações. Dessa forma se entende que a aplicação do BIM (Modelagem de Informação da Construção, traduzido) pode auxiliar na coleta de dados e na integração das informações para uma gestão eficiente. O objetivo deste trabalho é apresentar os parâmetros que são mais relevantes para compor o banco de dados auxiliando na gestão da manutenção. São abordados aspectos relacionados com a gestão da manutenção, destacando o ciclo de vida, internet das coisas, planejamento e gerenciamento de instalações. A metodologia é baseada na em uma revisão sistemática da literatura, por meio das bases de dados online, como "Scopus" e "Web of Science". A partir da seleção dos artigos, se fez uma análise detalhada para verificar os aspectos abordados sobre controle e gerenciamento de manutenção. Percebe-se com os resultados encontrados, que mesmo que os parâmetros sejam específicos, dependendo do tipo de ativo analisado, os mais empregados nos bancos de dados e que auxiliam no processo de manutenção são Relatórios de Inspeções e de Manutenção, Informações Geométricas e Semânticas do Ativo, Dados Atuais do Ativo e os Projetos "AS – BUILT".

Palavras-chave: BIM; Gerenciamento da Manutenção; Banco de Dados; Gestão.

ABSTRACT

Adequate maintenance of buildings and facilities extends their useful life and maintains the safety of users. The complexity and inefficiency in the execution of maintenance come from the lack of information. Thus, it is understood that the application of BIM (Building Information Modeling) can help in the collection of data and the integration of information for an efficient management. The objective of this work is to present the parameters that are more relevant to compose the database assisting in the maintenance management. Aspects related to maintenance management are addressed, highlighting the life cycle, internet of things, planning and facility management. The methodology is based on a systematic literature review, through online databases such as "Scopus" and "Web of Science". From the selection of articles, a detailed analysis was made to verify the aspects approached about maintenance control and management. The results found show that even though the parameters are specific, depending on the type of asset analyzed, the most used in the databases and that help in the maintenance process are Inspection and Maintenance Reports, Geometric and Semantic Information of the Asset, Current Data of the Asset and the "AS - BUILT" Projects.

Keywords: BIM; Maintenance Management; Database; Management.

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista o novo cenário que assola o mercado da construção civil no Brasil, no qual a realização da manutenção nos novos e antigos empreendimentos é uma prática ausente ou ínfima, o índice de degradação dos elementos estruturais está aumentando a cada dia. Assim, se percebe a necessidade do planejamento das atividades de manutenção para que as patologias possam ser corrigidas ainda no início, antes que se propaguem e prejudiquem o desempenho da edificação.

Como a realização do controle da manutenção é uma atividade complexa e que muitas vezes não é realizada da forma correta por falta de informações, entende-se que a aplicação do BIM (Modelagem de Informação da Construção, traduzido) pode auxiliar na coleta de dados e na integração das informações para a realização de uma gestão eficiente, como afirmado por Wen [1].

Segundo Nuswantoro [2], normalmente, o ativo é planejado e construído para ter um período determinado de serviço ou operação, respeitando a vida útil mínima por norma. Registros e históricos de dados suficientes resultam numa boa manutenção, caso contrário as medidas adotadas podem ser insuficientes ou inadequadas. Lacunas de transferências de informações e no compartilhamento entre as fases de planejamento e construção podem levar a problemas futuros de gerenciamento das manutenções (GM), conforme cita Tan [3]. E ao comparar com o conceito da ISO, 41001 [4], ao qual ressalta a necessidade de um fluxo de trabalho organizacional que combine os elementos de pessoas, local e processo na fase operacional do ativo, verifica-se que o GM e seu aspecto qualitativo se mantém pela estratégia de tomada de decisão com base nos registros, ordens de serviço ou análise de falhas.

Com o passar do tempo informações ausentes podem ser críticas para mudanças contínuas e inevitáveis, tais como evoluções da tecnologia, das estruturas organizacionais e a comutação de pessoas, como ressaltado por Finch, E. [5]. Dessa forma, o objetivo do presente artigo é identificar as informações ou parâmetros que são mais relevantes para auxiliar na gestão da manutenção e que devem ser fornecidas e compartilhadas com o auxílio do BIM ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento, destacando seu grau de importância.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. BIM e Ciclo de Vida

O BIM tem papel importante em fornecer uma plataforma comum de dados ao qual diferentes profissionais envolvidos em um projeto possam contribuir para o desenvolvimento de suas atividades e as relações interpessoais de forma eficaz e eficiente (Dahanayake, [6]). A indústria da construção consistentemente tem problemas na implementação dos seus ativos. Por isso o BIM tem a capacidade de mitigá-los devido a inserção da importância conceitual da fase de concepção de projetos de construção para identificar possíveis reduções de custos, aperfeiçoando o uso de materiais, instalações e equipamentos. Entretanto, o principal conceito da metodologia é a aplicabilidade em todo ciclo de vida do projeto, resultando em uma descrição digital de cada característica do ativo, de forma colaborativa e com atualizações contínuas. (Succar, [7]; Liu, [8]).

Outro fator preponderante são as regulamentações existentes quanto ao conceito BIM. Tanto as normas internacionais quanto as nacionais conceituam as partes integrantes para o ciclo de vida do ativo, bem como as taxonomias, nomenclaturas e ou codificações para todos os envolvidos na indústria da construção civil, objetivando: (1) ampliar a cooperação e comunicação entre os agentes da cadeia produtiva da construção civil de forma padronizada; (2) facilitar a interoperabilidade entre os diversos sistemas de dados; (3) aumentar a produtividade, qualidade e serviços listados; e (4) facilitar a gestão e operação da logística da construção, conforme descreve a ABNT NBR 15965 [9]. Entretanto, as normas e regulamentações não fornecem um padrão para o processo, ou seja, uma estrutura pré-definida de como deve ocorrer a transposição das informações, desde sua concepção até o nível de operação e uso, se tornando uma cadeia de processos única para cada tipo de ativo.

2.2. Manutenção das Estruturas

A ABNT NBR 5674 [10] informa que em cerca de 1% a 2% do custo inicial são gastos com as manutenções e esse valor acumulado ao longo da vida útil equivale ao custo igual ou superior de toda a construção. Por ela, o manual de operação, uso e manutenção é definido como um documento que reúne todas as informações necessárias para orientação de uso e manutenção da edificação como um todo. Com isso, ela pode determinar a necessidade da realização do planejamento com uma previsão dos métodos, os equipamentos necessários e um cronograma da realização e sua duração, com uma estimativa de custos.

Sendo assim, entende-se que com o BIM as informações como durabilidade, prazo de garantia, modo de uso, vida útil de projeto, plano de manutenção, com o detalhamento das intervenções que devem ser realizadas e as suas periodicidades,

podem ser inseridas no processo de modelagem da edificação e dessa forma auxiliar no processo de gestão da manutenção ao longo do ciclo de vida do empreendimento. Essa troca e armazenamento de informações pode ser realizado por meio do IFC (Industry Foundation Classes), que segundo a ISO 19739-1[11], trata-se de um padrão aberto desenvolvido pela “building SMART”.

2.3. Aplicação do BIM na gestão da manutenção

Para a realização de uma gestão de manutenção é essencial identificar quais informações devem ser fornecidas e como elas devem ser inseridas na plataforma para que o proprietário possa realizar as intervenções de forma e prazo adequado. Como abordado por Byun [12], para obter com segurança as informações que são necessárias para a segurança da manutenção é fundamental investigar estudos existentes e manuais existentes.

Hammad [13], apresentou em seu estudo sobre a gestão da manutenção de pontes, que o banco de dados deve conter as informações gerais de localização, tipo, capacidade de carga, informações de projeto, propriedades físicas dos elementos, dados de inventário, registro de inspeções regulares, relatório de avaliação de condição, registro de reparos e de custos. Os dados de exame de aparência, de testes de materiais, segurança estrutural, desempenho do serviço, reforços e reparos, quando aplicável, e dados de atributos e elementos, que são determinados nas fases de planejamento, projeto e construção, também devem compor o banco de dados e são utilizadas para estimar a vida útil restante, como apresentado por Byun [12].

Gao [14], apresenta alguns parâmetros que estão sendo adotados na literatura para o gerenciamento da manutenção e o BIM, sendo essas informações, os manuais de instruções, fotos, vídeos de operações, histórico de manutenção e informações do fabricante.

3. METODOLOGIA

Uma revisão sistemática da literatura foi adotada como metodologia de pesquisa para este periódico. Dessa forma, propõe-se uma estrutura conceitual para explicar o “GM-BIM inteligente” que consiste em 4 fases explicadas abaixo e ilustrada pela Figura 1. (Dahanayake, [6]).

Fase 1 - Definir um escopo de pesquisa e a busca da literatura. Identificou-se palavras-chave principais: BIM e “Maintenance Management”. A partir destas, usando a preposição “AND”, adicionou-se outras palavras-chave secundárias, tais como banco de dados; ciclo de vida; planejamento; gerenciamento de instalações, construção civil e internet das coisas (IOT).

Fase 2 - Base de Dados. Para isso, através de bases de dados online tais como: “Scopus” e “Web of Science”, buscou-se periódicos com palavras-chave relevantes ao tema tratado, e especuladas no parágrafo anterior. Não houve seleção ou omissão referente aos filtros de busca, nem quanto ao ano ou região de publicação. Cerca de 553 artigos foram identificados desde 2006. Os artigos foram selecionados de jornais, revistas, simpósios e congressos.

Fase 3 - Análise de conteúdo. Uma revisão de resumos foi adotada para classificar os periódicos de acordo com seu grau de relevância que se baseia na metodologia de estudos, resultados, relevância e significância da pesquisa. Adicionam-se também a este banco de dados os artigos de conferências que possuem relação com o tema. A partir da seleção dos artigos, se fez uma análise detalhada para verificar os aspectos abordados sobre controle e gerenciamento de manutenção em cada artigo.

Fase 4 - Discussão dos resultados. Classificar os parâmetros citados, justificando as escolhas pelos autores referência. Discutir as lacunas de pesquisa identificadas. O fluxograma para explicação da metodologia foi apresentado pela figura 1.

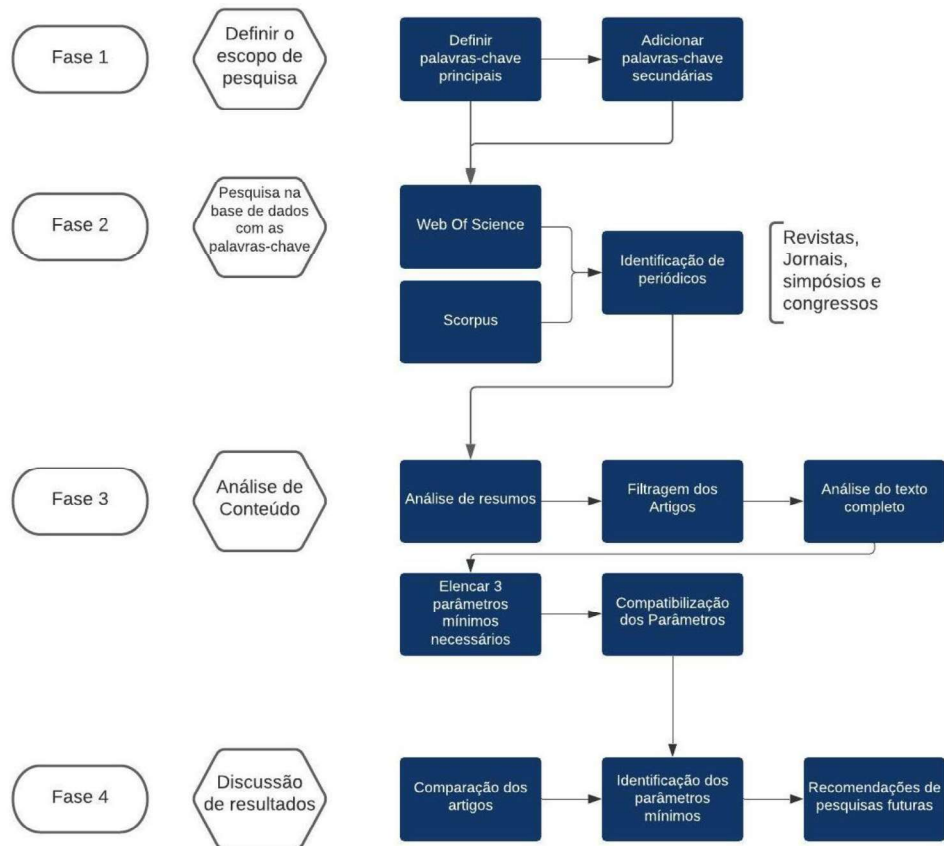


Figura 1 – Fluxograma metodológico.

4. RESULTADOS

A partir da revisão extensiva da literatura, realizada no banco de dados da “Scopus” e da “Web Of Science”, se fez uma análise de relevância dos artigos com o tema gerenciamento da manutenção, os parâmetros essenciais e o BIM, como apresentado na tabela 1. De modo geral, como abordado anteriormente, os parâmetros que devem compor o banco de dados para auxiliar no gerenciamento da manutenção variam de acordo com o elemento considerado. Sendo assim, na Tabela 3 são apresentados os parâmetros mais relevantes dos artigos selecionados, aos quais serão classificados qualitativamente para configurarem uma proposta estrutural de tópicos básicos para o GM criado por este periódico. Observa-se, que desde 2006 são apresentados nos artigos as informações que deveriam compor o banco de dados para o adequado gerenciamento da manutenção.

Tabela 1 - Número de periódicos em diferentes bancos de dados.

| Combinações Palavras-chave | Scopus | Web of Science |
|---|---|---|
| | BIM e Gerenciamento de Manutenção + Palavra-chave | BIM e Gerenciamento de Manutenção + Palavra-chave |
| BIM e Gerenciamento de Manutenção | 128 | 83 |
| BIM, Gerenciamento de Manutenção e IOT | 9 | 8 |
| BIM, Gerenciamento de Manutenção e Gerenciamento de Instalações | 49 | 27 |

| | | |
|--|----|----|
| BIM, Gerenciamento de Manutenção e Sistema de Gestão Informatizado de Manutenção | 13 | 6 |
| BIM, Gerenciamento de Manutenção e Banco de Dados | 19 | 16 |
| BIM, Gerenciamento de Manutenção e Planejamento | 18 | 17 |
| BIM, Gerenciamento de Manutenção e Construção Civil | 57 | 46 |
| BIM, Gerenciamento de Manutenção e Ciclo de Vida | 37 | 20 |

Nota: Não foi utilizado nenhum tipo de filtro.

De acordo com a Tabela 3, houve parâmetros repetidos. Dessa forma, se fez necessário uma compatibilização dos atributos para melhor visualização. A Tabela 2 lista os parâmetros citados em ordem de relevância a julgar pela quantidade de vezes que foram expostos. Do grupo de 15 periódicos classificados para análise textual e registrados os seus autores, para o primeiro parâmetro “Relatórios de Inspeção e Manutenção”, houve 9 citações. Já os 3 parâmetros subsequentes cada um obteve 4 citações das 15 possíveis. Com isso, estes 4 primeiros obtiveram uma classificação maior entrando para o grupo dos prioritários.

Tabela 2 – Lista de parâmetros por relevância.

| Ordem | Principais Parâmetros Citados | Relevância |
|-------|---|------------|
| 1º | Relatórios de Inspeção e Manutenção | ● |
| 2º | Dados Geométricos e Semânticos do Ativo | ● |
| 3º | Projeto "AS-BUILT" | ● |
| 4º | Dados Atuais do Ativo | ● |
| 5º | Registros de Reparos e Custos | ● |
| 6º | Dados Operacionais Diários | ● |
| 7º | Manuais de Instrução de Operação e Manutenção do Ativo | ● |
| 8º | Histórico Estrutural do Ativo | ● |
| 9º | Compartilhamento de Informações de Todo Ciclo de Vida | ● |
| 10º | Gerentes de Manutenção Experientes | ● |
| 11º | Informações dos Fabricantes quanto ao Materiais de Reparo | ● |
| 12º | Padronização das Ferramentas e Processos de Manutenção | ● |
| 13º | Projetos das Instalações e Equipamentos | ● |
| 14º | Seguros e Contratos de Manutenção Eficientes | ● |
| 15º | Degradação Inicial do Ativo | ● |
| 16º | Taxonomia dos Elementos ou Parâmetros | ● |
| 17º | Custos de Construção | ● |

Nota: Ordem de relevância do vermelho ao verde, dos mais prioritários para os menos prioritários.

Sendo assim, por meio de uma análise qualitativa, se afere que os parâmetros e informações mais relevantes são os Relatórios de Inspeções e de Manutenção, Informações Geométricas e Semânticas do Ativo, Dados Atuais do Ativo e os Projetos AS – BUILT. Estes configuram a tarja vermelha de relevância. Para a tarja amarela, considerados essenciais, aparecem Registros de Reparos e Custos; Dados Operacionais Diários; Manuais de Instrução de Operação e Manutenção do Ativo; Histórico Estrutural do Ativo; Compartilhamento de Informações de Todo Ciclo de Vida; Gerentes de Manutenção Experientes; e Informações dos Fabricantes quanto ao Materiais de Reparo. A tarja verde, considerados importantes, se classificam Padronização das Ferramentas e Processos de Manutenção; Projetos das Instalações e Equipamentos; Seguros e Contratos de Manutenção Eficientes; Degradação Inicial do Ativo; Taxonomia dos Elementos ou Parâmetros; e Custos de Construção.



Tabela 3 - Parâmetros/Informações selecionados e Referências.

| Parâmetros e Informações/Referências | Hammad et al. (2006) | Cheng et al. (2020) | Almomani e Almutairi (2020) | Mohamed e Marzouk (2021) | Sanghoon Lee e Omer Akin (2011) | J. Zhou et al. (2015) | Yu-Cheng Lin et al. (2014) | Ceric A. et al. (2019) | Zul-Arifi Ismail (2018) | Xiaoxiao Xu et al. (2020) | Xinghua Gao e Pardis Pishdad-Bozorgi (2019) | Namju Byun et al. (2021) | Matos R. et al. (2021) | Firas Shalabi e Yeida Turkan (2016) | Rossella Marmo et al. (2020) |
|---|----------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|---|--------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Relatórios de Inspeção e Manutenção | X | X | | X | X | X | X | | | | X | | | | |
| Dados Geométricos e Semânticos do Ativo | | X | | | | | | X | | X | | X | | | |
| Projeto "AS-BUILT" | | | | | | X | | | | | | X | | X | |
| Dados Atuais do Ativo | | | X | X | X | | | | X | | | | | | |
| Registros de Reparos e Custos | X | | X | | | | | | X | | | | | X | |
| Dados Operacionais | | | | X | | | | | | | | | | | X |
| Diários | | X | | | | | | | | | | | | | |
| Manuais de Instrução de Operação e Manutenção do Ativo | | | | | | | X | | | | X | | X | | |
| Histórico Estrutural do Ativo | X | | X | | | | | | | | | | | | |
| Compartilhamento de Informações de Todo Ciclo de Vida | | | | | | | | | | X | | | X | | |
| Gerentes de Manutenção Experientes | | | | | | | | | | X | | | | | X |
| Informações dos Fabricantes quanto ao Materiais de Reparo | | | | | | | X | | | | X | | | | |
| Padronização das Ferramentas e Processos de Manutenção | | | | | | | | X | | | | | | | |
| Projetos das Instalações e Equipamentos | | | | | X | | | | X | | | | | | |
| Seguros e Contratos de Manutenção Eficientes | | | | | | | | X | | | | | | | |
| Degradação Inicial do Ativo | | | | | | | | | | | | | X | | |
| Taxonomia dos Elementos ou Parâmetros | | | | | | | | | | | | | | | X |
| Custos de Construção | | | | | | | | | | | | X | | | |

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. Relatórios de Inspeção e Manutenção

O parâmetro mais mencionado pelos resultados apresentados pela pesquisa bibliométrica foi “Relatórios de Inspeção e Manutenção”, citados por Hammad [13], Cheng [15] e Mohamed [16], por exemplo. Os relatórios de inspeções e de manutenção são documentos elaborados após a realização das atividades de manutenção e de inspeção que devem ser realizadas periodicamente no empreendimento. A frequência dos mesmos depende do planejamento da realização dos serviços e verifica-se a necessidade da inclusão periódica desses documentos, tendo em vista que o BIM foca no compartilhamento de informações. Além disso, ter esses documentos disponibilizados para todos ao longo do ciclo de vida do empreendimento é fundamental, tendo em vista a importância desses documentos na realização das próximas manutenções. De modo similar se entende a importância da inclusão do plano de manutenção logo na fase de concepção do empreendimento, que irá apresentar como as manutenções e as inspeções devem ser feitas e a sua periodicidade, ao longo do ciclo de vida do ativo.

Fazendo a inserção dos conceitos da norma BS EN ISO 19650 [17], este parâmetro entraria no “Exchange Information Requirements” (EIR), ao qual define os aspectos gerenciais, comerciais e técnicos da produção de informações do projeto, incluindo o padrão e a produção de métodos e procedimentos a serem implementados pela equipe de entrega. Além disso, se contribuirá para o “Project Information Model” (PIM), fornecendo um arquivo de longo prazo do projeto para fins de auditoria.

5.2 Dados geométricos e semânticos do ativo

No caso do parâmetro de Dados Geométricos e Semânticos do Ativo, entende-se que eles podem ser incluídos no software de modelagem, logo na fase de elaboração do projeto. E com o compartilhamento de informações alcançado com o BIM, esses poderão ser utilizados e auxiliarão no gerenciamento da manutenção ao longo do ciclo de vida do empreendimento. Dessa forma, para a realização das manutenções é fundamental ter o conhecimento das características do elemento e das especificações de projeto para obtenção de manutenções eficientes.

Como abordado por Shen [18], os dados de geometria podem ser inseridos por meio do Modelo IFC no início da modelagem do projeto. Além dos dados geométricos, podem ser incluídos os parâmetros semânticos e demais informações do ativo, como dados dos fabricantes, custos do material, propriedades físicas, térmicas, entre outras, ou seja, elementos que possam contribuir para melhor caracterizar o ativo ao longo de todo o seu ciclo de vida. A importância desse parâmetro é notória e deve sempre compor o banco de dados, como foi abordado por Byun [12], Cheng [15], Xiaoxiao Xu [19] e Ceric A. [20] em seus estudos.

5.3 Projetos “AS – BUILT”

A elaboração de bons projetos “AS -BUILT” é de fundamental importância, por isso a ABNT NBR 14645-3[21] aborda sobre os procedimentos para elaboração do “AS -BUILT” das edificações, facilitando assim, a padronização dos métodos e diminuindo os erros no processo de elaboração. Esse parâmetro se torna essencial na composição de dados centrais para o gerenciamento das manutenções do ativo. Mahnaz [22], em comunhão ao conceito BIM, cita que o chamado “AS BUILT BIM” precisa ser configurado em um formato que fornece a operação crítica necessária e as informações de manutenção, mostrando exatamente o que foi construído e ou modificado, para resolver os desafios operacionais e melhorar a segurança e eficiência de uso e operação ao longo do tempo, conservando os aspectos ideais de vida útil.

Ao se correlacionar com a norma BS EN ISO 19650 [17], tão importante quanto o EIR e o PIM, ambos irão se suceder com a suplementação deste parâmetro (7.3) para formação do “Asset Information Requirements” (AIR). Os aspectos técnicos do AIR especificam as informações detalhadas necessárias para responder ao plano organizacional relacionado ao empreendimento. Esses requisitos devem ser expressos de tal forma que possam ser incorporados em nomeações de gestão de ativos para apoiar a tomada de decisão organizacional. Além disso, deve-se estabelecer um padrão de informações, métodos e procedimentos para a equipe responsável interdisciplinar.

5.4 Dados atuais do ativo

Os dados atuais do ativo são as informações atualizadas do empreendimento, após a realização de intervenções e modificações sejam elas reformas, recuperações, readequações, entre outras. Ou seja, que as alterações dos projetos originais devem ser sempre informadas, atualizadas e armazenadas em um banco de dados para que no momento das intervenções de manutenção fique evidente a real situação do empreendimento evitando acidentes e problemas estruturais no empreendimento que necessitariam de novas correções.

Conforme descreveu Laurini [23], o modelo BIM pretende ser um livro digital, definindo informações, processando-as, armazenando dados e conectando-se às interfaces disponíveis atualmente. Por isso, recolher todos os dados possíveis durante a construção do ativo ou pós construção, tais como materiais, instalações e tempo de execução objetiva maximizar a segurança no local e minimizar os recursos econômicos utilizados ao longo de sua vida útil.

6. CONCLUSÃO

Com o presente artigo foi possível verificar a importância das informações para a realização adequada do gerenciamento da manutenção. Observou-se que em diversas pesquisas foram informados os parâmetros que deveriam compor o banco de dados e a partir da análise qualitativa verificou-se que os mais relevantes são os relatórios de inspeções e de manutenção, dados geométricos e semânticos do ativo, dados atuais do ativo e os projetos AS – BUILT. Além disso, se pode classificar os demais parâmetros em essenciais e importantes. Ressaltando o objetivo do periódico escrito, a figura 2 estabelece uma estrutura GM de parâmetros mínimos para compor banco de dados com atributos que foram classificados como prioritários (vermelho), essenciais (amarelo) e importantes (verde). Em suma, através de uma média ponderada, estes parâmetros prioritários tendem a aparecer em 35,25% das pesquisas realizadas.

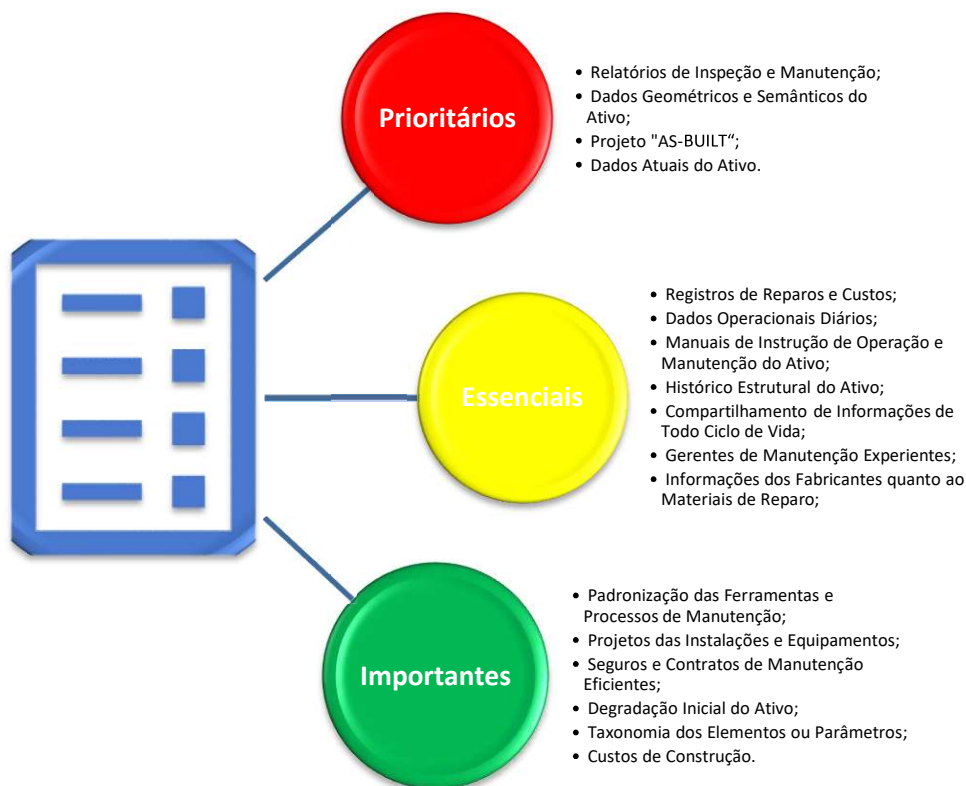


Figura 2 – Framework: GM – Parâmetros Mínimos.

Sugere-se que nos próximos trabalhos sejam realizadas análises específicas para cada um dos sistemas, sejam eles as instalações elétricas, equipamentos, fachadas, coberturas ou a edificação como um todo, tendo em vista que com essa análise poderiam ser obtidas informações mais específicas e detalhadas para cada um dos sistemas. Sugere-se também a realização de uma análise quantitativa dos parâmetros identificados, a partir da realização de entrevistas com profissionais com experiência no gerenciamento de manutenção, para que possa ser realizada a validação dos parâmetros qualitativos.

REFERÊNCIAS

- [1] Wen, Q.; Ren, Z.; Lu, H.; Wu, J. (2021) **The Progress and Trend of BIM Research: A Bibliometrics-Based Visualization Analysis**. *Autom. Constr.*
- [2] Nuswantoro, W. (2010) **Analysis of Damage Types on Buildings for ResearchGate**.
- [3] Tan, A. Z. T.; Zamam, A.; Sutrisna, M.; (2018) **Enabling an Effective Knowledge and Information Flow Between the Phase of Building Construction and Facilities Management** (Facilities Vol 36 Issue: 3/4) pp 151-170.
- [4] ISO 41011:2017(en) (2017) **Facility management – vocabulary, international organization for standardization**.
- [5] Finch, E. (2012) **“Facilities change management in context”**, in Finch, E. (Ed.), *Facilities Change Management*, 1st edn Blackwell Publishing Ltd, pp. 1-16.
- [6] Dahanayake, K. C.; Sumanarathna, N.; (2021) **IoT-BIM-based digital transformation in facilities management: a conceptual model**, *Journal of Facilities Management*, 1472-5967.
- [7] Succar, B. (2009), **Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders**. *Automation in Construction*, Vol. 18 No. 3, pp. 357-375.
- [8] Liu, Y., Van Nederveen, S. and Hertogh, M. (2017), **Understanding effects of BIM on collaborative design and construction: an empirical study in China**, *International Journal of Project Management*, Vol. 35 No. 4, pp. 686-698.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2011) **ABNT NBR 15965-1 -Sistemas de Classificação da Informação da Construção – Parte 1: Terminologia e Estrutura**.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2012) **ABNT NBR 5674 Norma de Manutenção Predial**. Rio de Janeiro.
- [11] ISO 19739-1 (2018) **Industry Foundation Classes (IFC) for Data Sharing in the Construction and Facility Management Industries**; Innovations Moving Transport Forward; ISO: Geneva, Switzerland.
- [12] Byun N., Han W.S., Kwon Y. W. e Kang Y. J., (2021) **Development of BIM-Based Bridge Maintenance System Considering Maintenance Data Schema and Information System**, *Sustainability*.
- [13] Hammad, A.; Zhang, C.; Hu, Y.; Mozaffari, E. (2006) **Mobile model-based bridge lifecycle management system**. *Comput. Aided Civ. Infrastruct. Eng.*, 21, 530–547.
- [14] Gao X e Pishdad-Bozorgi, P. (2019) **BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review**, *Advanced Engineering Informatics*.
- [15] Cheng, Jack C.P; Chen, Weiwei; Chen, Keyu; Wang, Qian. (2020) **Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms**. *Automation of Construction*, 2020. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2020.103087>.
- [16] Mohamed A. G.; Marzouk, M. (2021) **Building condition assessment using artificial neural network and structural equations**. *Expert Systems with Applications*.

- [17] ISO 19650-1:2018 (E). (2018) **Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles**. ISO: Geneva, Switzerland.
- [18] Shen, Z.; Issa, R.R.A; Gu L. (2007) **Semantic 3D CAD and Its Applications in Construction Industry — An Outlook of Construction Data Visualization**. Papers in Construction Management, Construction Systems.
- [19] Xiaoxiao Xu; Tim Mumford; Patrick X.W. Zou; (2021) **Life-cycle building information modelling (BIM) engaged framework for improving building energy performance**. Energy & Buildings.
- [20] Ceric A.; Ivica Z.; Vukomanovic M.; Ivic I.; Nahod M. M. (2019) **BIM implementation in building maintenance management**. Gradevinar (Journal of the Croatian Association of Civil Engineers).
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2005) **ABNT NBR 14645-3 - Elaboração do "como construído" (AS BUILT) para edificações - parte 3: locação topográfica e controle dimensional da obra – Procedimento**.
- [22] Mahnaz Enfati; Ashit Harode; Walid Thabet (2022) **Developing systems-centric as-built BIMs to support facility emergency management: A case study approach**. Automation of Construction. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104003.
- [23] Laurini, E.; Rotilio, M.; Lucarelli, M.; De Berardinis, P.; (2019) **Technology 4.0 for buildings management: from Building site to the interactive Building Book**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W11, 2019 GEORES 2019 – 2nd International Conference of Geomatics and Restoration, 8–10 May 2019, Milan, Italy.

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ORÇAMENTO REAL DE OBRAS X VALOR ORÇADO DE UMA OBRA COMERCIAL: ESTUDO DE CASO

IZEL, Anne Karine Arakian¹; ARAÚJO, Valdete Santos de²

¹ Universidade do Estado do Amazonas, Amazonas, Brasil, annekarine_@hotmail.com, 0000-0003-1726-9551

² Universidade do Estado do Amazonas, Amazonas, Brasil, vsaraujo@uea.edu.br

RESUMO

Para garantir um custo final de obra que não seja prejudicial à empresa executora ou ao contratante, é necessário que seja feito um orçamento preciso e condizente com a realidade que será encontrada. Este trabalho propõe a comparação dos valores orçados previsto e executado de duas obras de pequeno porte, levando em consideração a utilização de metodologias de controle e planejamento predominantemente em apenas uma dessas obras. Compara quais os métodos utilizados e como esses foram incorporados no processo executivo, buscando compreender os valores em análise. Além disso, foi feita a quantificação da diferença no valor de custo executado, em relação ao valor previsto, causada pela presença dessas metodologias antes e durante a execução da obra. Consequentemente, este trabalho comprova a necessidade financeira, além de outros aspectos, da utilização de metodologias de controle e planejamento de obras em edificações de todos os portes, não somente em edificações de grande porte como é feito no mercado atual, além de contextualizar a situação da cidade de Manaus.

Palavras-chave: orçamento; planejamento; controle; previsto; executado.

ABSTRACT

In need of guaranteeing that the final cost of a construction is not damaging to the executing company or to the client, it is necessary that that's a precise and fitting budget in comparison with the reality to be seen. This work proposes a value comparison between the cost value expected and executed in two alteration works, considering the use of control and planning methodologies present in either of the constructions. It compares which methods utilized and how they were implemented during the executing process, searching for comprehension of the values in analysis. In addition, it is quantified the reduction in cost of the executed value, in comparison with the expected value, caused by the implementation of those methodologies before and during the execution of the construction project. Consequently, this work proves the financial necessity, among other aspects, of implementing control and planning methodologies in construction projects of any size, not only in bigger projects as most of the market nowadays, in addition to contextualize the present situation in Manaus City.

Keywords: budget; planning; control; expected; executed.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Mattos [1], deficiências no planejamento e no controle estão entre as principais causas da baixa produtividade do setor, de suas elevadas perdas e da baixa qualidade de seus produtos. De acordo com Freire [2], a utilização dessas metodologias tem papel fundamental para o sucesso da construção civil, podendo gerar a redução dos custos e do tempo de execução da obra.

Silva [3] pontuou que a utilização de metodologias de planejamento e controle antes e durante a execução de um galpão industrial na cidade de Belo Horizonte geram uma redução de até 7,91% do custo incorrido em relação ao custo previsto, quando comparados os itens mais significativos do orçamento (curva ABC).

Rodrigues e Bertuzzo [4] comparam o orçamento com o custo final da execução de uma edificação do projeto Minha Casa Minha Vida, financiada pela Caixa Econômica Federal, e orçada com os parâmetros do SINAPI. Como resultado da

análise, foi percebido que havia projetos com pouca informação, causando defasagem nas quantidades levantadas de materiais e serviços. Por esse motivo, obteve-se um custo final de obra 27,58% maior que o seu valor orçado.

Neste estudo, foram comparadas duas obras de pequeno porte em Manaus, Amazonas, para avaliar quais metodologias utilizadas antes e durante a execução, e quantificar o impacto delas no custo final da obra.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Planejamento de obras

Seja público ou privado, a chave do sucesso de qualquer empreendimento é o Planejamento. É por meio dele que se definem prioridades, estabelecem a sequência da execução, comparam alternativas de ataque, monitoram-se atrasos e desvios, dentre vários outros benefícios [1].

i. Ciclo PDCA

O Ciclo PDCA é um dos processos de melhoria contínua mais usados e difundidos no mundo. Sua nomenclatura vem da língua inglesa que significa *Plan, Do, Check e Act*, que traduzindo significa Planejar, Fazer, Checar e Agir, respectivamente. Através dessa metodologia pode-se perceber que planejamento e controle precisam ser uma constante ao longo do empreendimento [1].

ii. Estrutura Analítica de Projeto (EAP)

A EAP refere-se à decomposição hierárquica dos processos, com a finalidade de atingir os objetivos do projeto e criar os serviços e entregas necessárias [5]. Segundo Mattos [1], esse processo, que pode ser chamado de decomposição, é onde o projeto é progressivamente desmembrado em unidades menores e de mais simples manejo. É a essa estrutura decomposta e hierarquizada que se dá o nome de EAP, onde o nível superior representa o escopo total, com um item representando o projeto como um todo, e à medida que se decresce de nível, os pacotes de trabalho se tornam menores e mais bem definidos.

Dessa forma, é mais fácil o processo de atribuição de uma duração e identificação de uma atividade no campo para realização de seu devido controle [1].

iii. Cronograma

O cronograma é o produto do planejamento, é a ferramenta utilizada para mensurar e acompanhar o desenvolvimento do projeto. É fundamental para estimar o tempo de execução total da obra e de cada fase [5].

O cronograma deve ser baseado na EAP, onde são descritas todas as Atividades gerenciáveis e previstas no projeto [1]. De acordo com Mattos [1] e Nocêra [5], usualmente são utilizadas duas metodologias de cronograma, de forma simultânea, funcionando como um único cronograma, o físico-financeiro. A parte física deste cronograma é dada pelo Diagrama de Gantt, ou de barras, e a parte financeira é dada pela representação monetária do cronograma físico, tendo como informação gerada os valores de desembolsos mensais, quinzenal ou semanal, a depender do orçamentista, até chegar ao valor final orçado no fim da obra.

De acordo com Nocêra [5], o cronograma é ferramenta fundamental para análise e acompanhamento constante do projeto. Sua elaboração deve ser de responsabilidade do orçamentista, juntamente com a equipe de planejamento da obra. Além disso, o cronograma é uma das principais ferramentas utilizadas para basear a elaboração do Ciclo PDCA do projeto, e sem ele não será possível saber se o projeto se encontra atrasado ou adiantado em relação ao que foi planejado, nem se está obedecendo ou não os custos previstos em cada fase.

2.2 Orçamento de obras

De acordo com Mattos [1], orçamento é gerado através da soma dos custos diretos, que abrangem mão de obra, materiais, equipamentos etc., e de custos indiretos, que compreendem as equipes de supervisão e apoio, como engenheiros e técnicos, além de despesas gerais, como manutenção de canteiro de obras, e taxas, e por fim, a esse somatório são adicionadas as porcentagens referentes a lucro e impostos.

Para auxiliar na composição de orçamentos de obras, o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) oferece referências de preços de insumos e materiais, servindo como parâmetro para as empresas na criação de seus próprios orçamentos, seja para obras públicas ou privadas. Além disso, a Caixa Econômica Federal, órgão responsável pelo sistema, atualiza mensalmente sua base de preços dos custos diretos e indiretos para inúmeras fases da construção civil, apresentando métodos construtivos para as atividades da obra [6].

Quando se fala em tipos de orçamentos, refere-se ao grau de detalhamento de um orçamento, e podem ser classificados em: estimativa de custos, onde se tem um valor obtido com base em custos históricos e projetos semelhantes; orçamento preliminar, onde se tem um detalhamento maior, baseado num levantamento de quantidades e valores dos principais insumos e serviços; e orçamento analítico ou detalhado, em que se chega o mais próximo possível do custo real [7].

O processo de orçamentação de um projeto consiste na determinação da estimativa de custos para a execução de uma obra. Essa estimativa, que conseqüentemente é usada para o estabelecimento de um preço de venda, dá origem ao orçamento. Nessa ordem, as etapas para a técnica orçamentária constituem na identificação, descrição, quantificação, análise e valorização de diversos itens e fatores, e requerem atenção e habilidade técnica [1].

Mattos [1] esquematiza o orçamento como o conjunto de três etapas: estudo das condicionantes ou condições de contorno, composição de custos e determinação de preços. Dessa forma, entende-se que para realizar um orçamento de obra, deve ser feito previamente um estudo das condições do serviço, considerando os documentos disponíveis (projetos, levantamento topográfico, memorial descritivo), condições do local, consultas com o cliente, ou seja, é necessário obter todos os dados e informações úteis para a quantificação dos custos da obra.

Uma vez que se tem todos os dados necessários, inicia-se a etapa de determinação de custos. Essa fase é a mais demorada, e conseqüentemente, a fase que demanda mais trabalho e atenção, devido ao fato de que um pequeno erro de conta pode gerar um erro de enormes proporções na prática. As atividades que compreendem são: as definições técnicas, o plano de ataque da obra, os quantitativos dos serviços, as produtividades e a cotação de preços e insumos. Por fim, a última etapa compreende a adição dos custos indiretos e a aplicação dos impostos e margem de lucro desejada, gerando o preço de venda da obra [1].

Mattos [1] define Composição de Custo Unitário (CCU) quando se estabelece os custos incorridos necessários para a execução de uma atividade ou serviço, separando por insumo e conforme requisitos preestabelecidos. Devem conter todos os insumos necessários para a execução de cada serviço e seus respectivos custos unitários e totais, considerando mão de obra, material e equipamento.

Em orçamentos em que se utilizam preços unitários por serviço executado, Nocêra [5] diz que se utilizam as CCU's, em que se quantifica o custo necessário para a execução de uma unidade de medida de determinado serviço – 1 m³ de concreto, 1 m² de pintura de parede –, incluindo carga horária de mão de obra e equipamentos e quantidade de materiais. Uma CCU deve conter os seguintes dados:

- Insumo, explicitando cada um dos itens necessários – material, mão de obra e equipamentos;
- Unidade, identificando a unidade de medida de cada insumo – horas de mão de obra e equipamentos, m³, m², m, kg, entre outras, de material;
- Índice, ou coeficiente, correspondendo à incidência ou quantidade de unidade de medida do insumo em questão;
- Custo unitário, sendo o custo de aquisição ou emprego de uma unidade de insumo;
- Custo total, que corresponde ao produto deste cálculo. É a soma do custo total de cada insumo – multiplicação do custo unitário pelo índice, ou coeficiente, gerando num valor monetário para cada insumo.

2.3 Metodologias de controle de qualidade de obras

Segundo Garcia [8], é alto o número de variáveis que podem interferir na qualidade de uma construção ao longo da execução de uma obra, porém é entendido que há a possibilidade de controlar tais intercorrências. Diante disso, compreende-se a necessidade de criação de técnicas de controle de qualidade de obras, a fim de garantir a integridade da construção e o seguimento das conformidades conforme a NBR ISO 9001:2011 [9].

Frente a isso, uma empresa que apresenta a ausência de um ou mais requisitos, ou até a falha na implementação e manutenção, do sistema de gestão de qualidade, diante de evidências, acaba sendo posta em dúvidas em relação à qualidade do seu produto ou serviço. Quando isso acontece, sua certificação é impedida e é reconhecida uma não conformidade [8].

A principal ferramenta de controle de qualidade de obras, também utilizada como ferramenta de planejamento e gestão de projetos – podendo ser utilizado no controle de custos –, é o Ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), onde segue-se um ciclo de planejar, fazer, checar e agir [8].

Conforme Garcia [8], traduzindo tal ferramenta para o controle de qualidade, entende-se que a fase de planejar corresponde ao planejamento inicial da obra, ou de um serviço em específico. A fase de fazer corresponde, analogamente, à execução do serviço. Após essa fase, inicia-se o processo de controle de qualidade, onde verifica-se as conformidades do executado com o planejado, além da integridade física e da conformidade de acordo com a ISO 9001:2011 [9]. Na fase Check são executadas as metodologias de controle de custos, sempre simultaneamente ao processo executivo.

Posteriormente, tem-se o processo de agir nas melhorias das conformidades identificadas no processo de checagem dos serviços e dos processos [8].

Outra metodologia também utilizada como ferramenta de gestão, que é usada como ferramenta de controle de qualidade de obras, é o Diagrama de Causa e Efeito. Também chamado de Espinha de Peixe, é utilizado como instrumento de análise, onde são listados todos possíveis fatores responsáveis por um efeito principal. Desse modo, é possível identificar quais as causas de itens em não conformidade [8].

Segundo Santos [10], o Diagrama de Causa e Efeito pode ser executado seguindo os seguintes passos:

- Definição do efeito;
- Divisão das principais categorias de causa;
- Elaboração da estrutura do diagrama;
- Preencher o diagrama conforme análise criteriosa de causas, divididas em nível em ordem crescente;
- Seleção e identificação de uma quantidade menor de causas, de três a cinco, de maior nível e influência sobre o efeito.

3. METODOLOGIA

Para a realização do presente estudo de caso, foram utilizadas como objeto de estudo duas obras privadas gerenciadas pela mesma empresa, que será conhecida como “Empresa X”. Tal empresa trabalha por meio de gerenciamento de obras, contratando prestadores de serviço e empresas para a execução das atividades. As duas obras deste estudo foram executadas no mesmo ano, sendo uma em seguida da outra. Foram escolhidas duas obras de mesma natureza e de porte pequeno, ou seja, obras com menos de 20 empregados.

Esse estudo comparativo foi feito através de coleta e análise de dados de cada obra fornecidos pela Empresa X, dos quais são: orçamento e custo de obra, projetos executivos e arquitetônicos, informações de planejamento previamente ao início do processo executivo, informações de controle de qualidade e custos durante a execução, além de ter sido realizada uma entrevista com os funcionários que participaram dos processos, onde obteve-se a opinião interna a respeito da efetividade das metodologias implementadas.

3.1 Identificação das obras

i. Obra A

A primeira obra, identificada como Obra A, corresponde à obra de reforma de uma sala no edifício comercial Atlantic Tower, localizado na avenida Djalma Batista, 1719, na cidade de Manaus, Amazonas.

Essa obra consiste na união de duas salas do edifício comercial com 30 m² cada, conforme projeto de construir e demolir demonstrado na Figura 1. Além de demolição de alvenaria para a união das duas salas, foram realizados serviços como: execução de paredes em gesso acartonado, execução de novas instalações elétricas e hidrossanitárias, revestimentos de piso e parede e entre outros descritos no orçamento de obra.

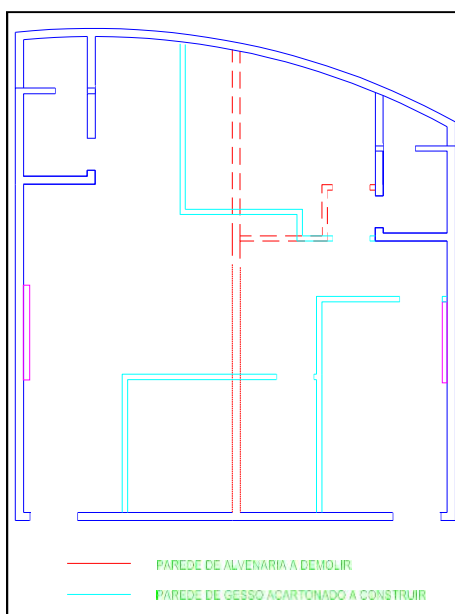


Figura 1 – Projeto da obra A.

O processo executivo da Obra A ocorreu no período de segunda a sábado, das 20:00 às 7:00, horário em que o prédio se encontrava fechado. A obra teve conclusão em dois meses, com início no dia 27/07/2021 e término no dia 29/09/2021.

ii. Obra B

A Obra B refere-se a uma obra de reforma em uma edificação de três pavimentos, localizada na Rua Manoel Marques de Souza, 178, no bairro Parque Dez de Novembro, Manaus, Amazonas.

Com a edificação já existente no início do projeto, a Obra B conta com execução de paredes e forro em gesso acartonado, execução de alvenaria e instalações hidrossanitárias para implantação de lavabo, instalações elétricas, pintura de paredes e entre outros serviços identificados no orçamento de obra.

A Obra B refere-se a uma edificação com três pavimentos sendo 132,20 m² por pavimento, totalizando em 396,60 m² de reforma, conforme pode ser visualizado na Figura 2.

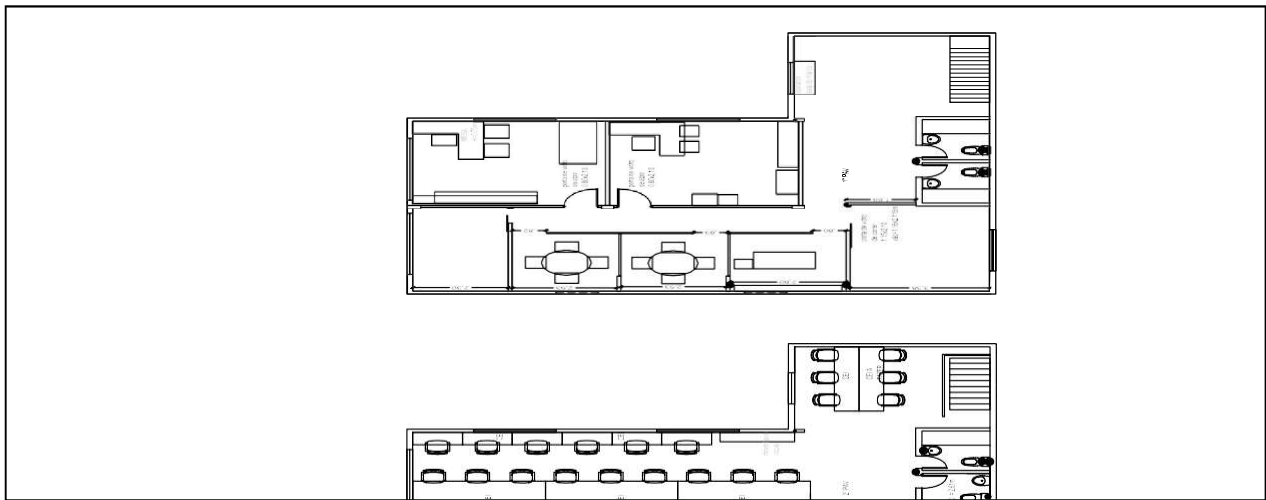


Figura 2 – Projeto da obra B.

O processo executivo se deu de domingo a domingo, 24 horas por dia, e contou com um prazo de 25 dias, com início em 19/07/2021 e término em 12/08/2021.

3.2 Dados obtidos

i. Obra A

De acordo com a empresa responsável, o processo executivo do projeto ocorreu da seguinte forma: após a aprovação do projeto arquitetônico, foi realizada uma reunião de equipe, onde foram levantadas e avaliadas todas as características do projeto, antecipando pontos e atividades críticas que deveriam ter maior atenção durante o processo. Nessa etapa também foi feita a EAP, que foi guia para a execução do orçamento de obra e do cronograma, além de preparativos para início da obra.

Além disso, o processo dessa obra contou com controle de custos durante todos os processos de contratações e aquisição de materiais, controle de qualidade durante os processos executivos de cada etapa do projeto e acompanhamento e atualização do cronograma de obra. Sabe-se também que apesar de ser feito o controle de qualidade, ocorreram alguns retrabalhos no fim do processo executivo, detalhados na discussão dos resultados.

ii. Obra B

A obra B possuiu um processo diferente comparado à obra A, tanto durante a execução quanto previamente ao início das atividades. Devido ao prazo extremamente curto e ao fato de que o início das atividades deveria ocorrer imediatamente, equipes de serviços preliminares, como demolições e retiradas, iniciaram as atividades antes da finalização dos projetos e do orçamento de obra. Dessa forma, houve a execução de um planejamento de obra no início das atividades, porém não foram feitos acompanhamentos posteriores nem houve um controle de custo nos processos financeiros durante a execução da obra – o cálculo dos custos da obra foi feito através das notas fiscais das compras dos materiais e registros de pagamentos de mão de obra da prestação de contas -, visto que o foco da empresa se voltou para o prazo e a qualidade do processo executivo, gerando assim o cumprimento do prazo imposto pelos contratantes e um nível de retrabalho mínimo.

3.3 Análise dos dados

Para a análise dos valores fornecidos de cada obra, foi calculada a diferença entre os valores realizado (custo) e orçado de cada obra, e posteriormente foi calculada a porcentagem dessa diferença em relação ao valor orçado, conforme Equação 1 [4].

$$D = ((C - O)/O) \times 100 \quad (1)$$

onde:

D = desvio realizado-orçado (%)

C = custo realizado da obra (R\$)

O = custo orçado da obra (R\$)

4. RESULTADOS OBTIDOS

Após análise dos valores de custo orçado e realizado de cada uma das obras, foi calculado o desvio de cada uma através da Equação 1, e dispostos para comparação conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação dos valores das obras A e B.

| Obra | Valor Orçado | Valor Realizado | Desvio realizado-orçado |
|--------|----------------|-----------------|-------------------------|
| Obra A | R\$ 92.000,000 | R\$ 80.475,47 | -12,53% |
| Obra B | R\$ 36.994,85 | R\$ 45.817,27 | 23,85% |

Durante entrevista com os responsáveis pelas obras, foi identificado que os quantitativos levantados para o orçamento das duas obras foram feitos pela mesma pessoa, descartando a possibilidade de haver divergência de métodos de levantamento de quantitativos como justificativa pelos desvios gerados nos custos.

Interpretando as porcentagens calculadas, o desvio negativo ocorre por se ter um custo real menor que o previsto, ou seja, a empresa economizou na Obra A. Analogamente, o desvio positivo da Obra B configura um custo real maior que o previsto, representando prejuízo financeiro para a empresa.

Analisando as informações das metodologias e processos implantados antes e durante as execuções, e comparando os dois projetos, conforme Tabela 2, tem-se uma visão maior dos principais pontos resultantes dos desvios obtidos.

Tabela 2 – Comparação das metodologias implantadas nas obras A e B.

| Itens | Obra A | Obra B |
|--|--------|--------|
| Foram realizados projetos de obra | X | X |
| Foi realizado planejamento previamente à execução do orçamento | X | |
| Foi realizado orçamento de obra | X | X |
| Foi realizado planejamento prévio ao início da execução | X | X |
| Foi executado o cronograma de obra | X | |
| Foi realizado controle de custos durante a execução | X | |
| Foi realizado controle de qualidade no processo executivo | X | X |

Segundo os responsáveis da obra A, mesmo com acompanhamento do cronograma de obra e com um controle de qualidade durante o processo executivo, houveram situações de retrabalhos pequenos. Esses não apresentaram aumentos significantes no custo da obra nem atraso no cronograma. Os retrabalhos consistiram em falhas na pintura das instalações elétricas expostas, que foram retocadas antes da entrega da obra. Após entrevista com os funcionários e responsáveis, foi identificado que o controle de qualidade executado na obra B foi mais rigoroso que o da obra A, entendendo-se que na primeira houve acompanhamento e fiscalização dos processos executivos durante as 24 h de execução evitando erros e dúvidas de projetos da mão de obra, ao passo que na última houve acompanhamento nas primeiras horas de trabalho e durante o dia após o término do serviço na manhã seguinte. Além dessa situação, também houve vazamento na tubulação de alimentação de água da bacia sanitária de um dos banheiros. Essa situação foi resolvida durante o processo executivo, não gerando atrasos, e apresentando um custo irrelevante, visto que só foi necessário trocar a peça de encaixe da bacia. Focando em controle de custos, o setor responsável pelo custo da obra A acompanhou todo o processo de compra de materiais e de contratação de terceiros, evitando compra de materiais diferentes dos especificados em projetos e com valores acima do valor previsto, situações que ocorreram na obra B, segundo entrevista. A obra B, devido o tempo de

execução ser sua prioridade, não teve nenhum tipo de acompanhamento na compra dos materiais, tendo esses sido comprados de acordo com requisição dos responsáveis pela execução. Um ponto importante percebido foi que devido à urgência dos materiais, foi gasto um valor mais alto nos insumos e na prestação dos serviços, quando comparado com o custo previsto.

5. CONCLUSÕES

Apesar dos dois projetos analisados neste estudo terem utilizado metodologias de qualidade, sendo estas de acompanhamento de execução e custo, percebeu-se que a Obra B teve um controle de execução mais rigoroso quando comparado com a Obra A, refletindo diretamente no fato de que a última possuiu alguns retrabalhos que geraram custos não previstos.

Além disso, a utilização de um controle de custos do início ao fim do projeto se mostrou ponto principal como justificativa para os desvios obtidos. No projeto em que se teve essa metodologia, houve um desvio negativo (economia) de 12,53% do valor previsto, em oposição ao prejuízo da empresa no projeto com ausência desse método, gerando um desvio positivo de 23,85% em relação ao valor de custo previsto.

Apesar de ser possível entender que uma obra com controle de qualidade e custos rigoroso possui menores chances de causar prejuízo para a empresa executora, podendo inclusive prover um lucro maior que o previsto, este estudo possibilitou quantificar essas chances, provando ser mais prejudicial a não utilização dos métodos abordados na análise quando comparado com o contrário.

Conclui-se que a justificativa para os desvios obtidos para a obra B foram que os gerenciadores focaram no tempo de execução da obra e na qualidade dos serviços, o que ocasionou na falta da execução do controle de custos, de forma que foram contratados prestadores de serviços mais caros que o previsto, e utilizados materiais de especificação diferentes do projeto, aumentando o custo da obra. E em relação à obra A, a principal justificativa para a redução foi a execução do controle de custo e de qualidade.

REFERÊNCIAS

[1] MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras**. 2. ed. atual. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2019b. 365 p. ISBN 978-85-7975-345-9.

[2] FREIRE, Manoella Toniolo de. **AVALIAÇÃO DO CUSTO E CRONOGRAMA DE UMA OBRA DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM SUAS ETAPAS INICIAIS: PREVISTO X REALIZADO**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - UNISUL, Palhoça, 2019.

[3] SILVA, Ana Claudia da. **PLANEJAMENTO, GERENCIAMENTO E CONTROLE DE CUSTO: ESTUDO DE CASO DE UM GALPÃO INDUSTRIAL CONSTRUÍDO PARA LOCAÇÃO**. 2019. Monografia (Especialista em Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2019.

[4] RODRIGUES, Dionison Silva; BERTUZZO, Thiago Augusto. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ORÇADO E REALIZADO EM UMA OBRA MINHA CASA MINHA VIDA – ESTUDO DE CASO EM TOLEDO/PR**. 2019. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Paranaense, Campus de Toledo/PR, UNIPAR, 2018.

[5] NOCÊRA, Rosaldo de Jesus. **Gerenciamento de Projetos**. Rio de Janeiro: RJN Books, 2020. 687 p. ISBN 9786500110210.

[6] SINAPI. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 22/03/2022.

[7] PMI. Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos. **GUIA PMBOK**. 6ª Edição. EUA, *Project Management Institute*, 2017.

[8] GARCIA, Rodrigo Figueiredo. **IDENTIFICAÇÃO DE MELHORIAS NO CONTROLE DA QUALIDADE PARA OBTENÇÃO DA CONFORMIDADE EM OBRAS DE EDIFICAÇÕES**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9001: **História da normalização brasileira**. Rio de Janeiro, 2011.

[10] SANTOS, J. **Apostila Técnicas e Ferramentas Básicas e Gerenciais da Qualidade**. Curso de Gestão da Qualidade de Engenharia Civil-UFRJ, 2015

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

INTEGRAÇÃO DE PROJETOS AS-BUILD EM UMA EDIFICAÇÃO DE USO EDUCACIONAL

OLIVEIRA, Amanda Lisbôa de¹; SILVEIRA, Caroline²; LINHARES, Matheus³; RIGÃO, Alessandro Onofre⁴; YONEGURA, Robison⁵

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, Cachoeira do Sul, Brasil, amandalisboadeoliveira@yahoo.com.br, 000-0001-6349-2186

² Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, Cachoeira do Sul, Brasil, carolinesilveira0110@gmail.com

³ Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, Cachoeira do Sul, Brasil, matheusvlinhares@hotmail.com

⁴ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, rigaoa@gmail.com, 0000-0002-8795-9067

⁵ Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, Cachoeira do Sul, Brasil, ryonegura@gmail.com, 0000-0002-1135-0132

RESUMO

A integração de projetos é uma ferramenta que visa a troca de informações entre os diferentes agentes envolvidos no projeto de uma edificação, bem como busca a minimização de possíveis interferências e retrabalhos. Para esta finalidade tem-se utilizado o BIM (Building Information Modeling). Em edificações existentes, a carência de informações documentais dificulta este tipo de trabalho, sendo necessário o levantamento no local. Realizou-se o levantamento técnico e modelagem BIM de uma edificação de propriedade da UFSM com o objetivo de um posterior retrofit. Buscou-se discutir os procedimentos e limitações impostas na busca e atualização dos projetos desta edificação, bem como o levantamento técnico realizado com o objetivo da geração do arquivo BIM. A modelagem foi realizada no programa Revit versão estudantil. Os trabalhos foram desenvolvidos de forma colaborativa mediante compartilhamento de arquivos remotamente e realização de visitas no local. Os projetos fornecidos pela UFSM mostraram-se desatualizados. Observou-se diversas alterações no layout não constantes em projeto, carência de informações sobre o traçado das tubulações hidráulicas e existência de circuitos elétricos não documentados. Neste caso, o levantamento das informações no local foi imprescindível para a adequada criação do arquivo BIM.

Palavras-chave: Projetos; BIM; Construção Civil.

ABSTRACT

The integration of projects is a tool which aim to information sharing among the different actors involved in the building design, as well as is aimed at reduce the probable interference and rework. For this purpose the BIM (Building Information Modeling) has been used. In existing building, the lack of documental information hampers this kind of task, so the site survey is needed. The technical survey and BIM modeling were performed in a building of UFSM property in order to a further retrofit. It sought discuss the procedures and restrictions in the search and updating in this building projects, as well as the technical survey with the aim of establishment BIM file. The modeling was realized at software Revit in the student version. The tasks were performed in collaborative manner with file sharing remotely and execution of on-site visit. The projects supplied by UFSM were out-of-date. Many layout changes not appearing in project, lack of information about the hydraulic pipe and electric circuits undocumented were observed. In this case, the information gathering on-site was essential for the file BIM creation properly.

Keywords: Projects; BIM, Building construction.

1. INTRODUÇÃO

A integração de projetos visa facilitar a troca de informações entre os diferentes técnicos envolvidos na elaboração dos projetos de uma edificação. Além disso, visa minimizar retrabalhos e possíveis interferências entre os diferentes sistemas na edificação.

Uma das ferramentas computacionais que tem sido adotada para esta finalidade é a plataforma BIM (Buildin Information Modeling). Encontram-se na literatura diversos trabalhos que fazem uso desta ferramenta [1-5].

Porém, segundo Martins Jr. [6] que avaliou, entre outros aspectos, a integração de projetos entre escritórios de arquitetura e engenharia na cidade de Natal/RN, cerca de 67% dos profissionais realizam este processo de forma visual, sem uso de ferramentas específicas. Ainda, Ruschel et al. [7] relatam que o BIM vem sendo implantado de forma muito gradual e pouco efetiva nos cursos de Arquitetura e Engenharia Civil no país.

A adequada modelagem da edificação, passa pela etapa de levantamento técnico, visando ter o máximo de informações acerca das dimensões, materiais e sistemas que compõem a construção. Principalmente em edificações com idade avançada, costuma-se ter dificuldades nesta fase, devido à carência de informações atualizadas pela falta de projetos ou projetos incompletos, intervenções realizadas sem conhecimento e poucas informações sobre memoriais técnicos.

A edificação educacional, objeto de análise, é conhecida como “Antiga Reitoria” (Figura 1), sendo de propriedade da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O prédio está localizado na zona central do município de Santa Maria – RS, considerado um marco histórico e espacial para a comunidade, tendo sido um ambiente que cumpriu seu papel proporcionando inúmeras funções e atividades à sociedade ao longo dos seus 60 anos. O edifício, de meados de 1960, é constituído por uma área de aproximadamente 10.560.000m² e concebe nove pavimentos dos quais, atualmente, são utilizados de forma parcial e caracterizam-se pela defasagem das instalações prediais e pelo surgimento de diversas patologias adquiridas no decorrer do tempo.



Figura 1 – Prédio conhecido como Antiga Reitoria [8].

É possível perceber que as pátinas do tempo são consequências inevitáveis em edificações públicas intensamente utilizadas. No entanto, após uma análise do local, com documentos construtivos originais da edificação, nota-se que, ao longo dos anos, a mesma foi submetida a incontáveis processos de intervenções para adaptar-se aos diversos e novos usos, o que provocou sobreposições de camadas construídas e alterações no layout original. Isso potencializou a descaracterização total dos ambientes internos e comprometeu não apenas a funcionalidade, mas também a segurança dos usuários.

É explícito que as numerosas problemáticas observadas carecem de uma proposta projetual para adequação e atualização em seus sistemas, já que a maioria das alterações construtivas não se encontram registradas nos documentos projetuais da edificação.

Em agosto de 2019, entrou em vigor o decreto lei nº 9983/19 [9] que dispõe de uma estratégia nacional a fim de propagar a utilização do BIM no Brasil e criar condições favoráveis ao investimento desta tecnologia por parte dos setores público e privado. Neste decreto instituiu-se o Comitê Gestor da Estratégia do BIM, com suas respectivas atividades e representantes de determinados órgãos nacionais. Ainda, a partir de abril de 2020, entra em vigência o decreto nº 10306/20 [10], que designa a utilização do BIM na execução de projetos realizados por órgãos públicos. Este apresenta as obrigatoriedades referentes às obras e serviços de engenharia no que tange seus métodos de execução.

O BIM vem a ser uma tecnologia que visa unificar as informações dos projetos de uma edificação, ou seja, o BIM é um conjunto de objetos parametrizados com informações específicas inseridos em um modelo central. Dessa forma, nos encontramos em uma fase drástica de transição tecnológica onde, a utilização desta tecnologia se torna cada vez mais necessária e útil, promovendo projetos paramétricos que proporcionam um modelo 3D integrado, enquanto se é produzido o gráfico 2D detalhado do mesmo.

2. OBJETIVO

Busca-se discorrer acerca dos procedimentos e limitações impostas para realização do levantamento técnico visando à atualização do projeto arquitetônico desta edificação histórica. Além disso, a necessidade de levantamento das instalações complementares (instalações hidrossanitárias e elétricas), buscando a integração entre projetos e elaboração de um arquivo BIM, visando a unificação das informações da edificação.

3. METODOLOGIA

Para início de qualquer atividade projetual são necessárias o máximo de informações, além dos projetos arquitetônicos e complementares atuais da obra consolidada. Porém, como os documentos de meados de 1960 do prédio não compactuam com os aspectos internos encontrados, foram necessárias a realização de vistorias e medições in loco para assim, sanar a carência encontrada nas informações disponíveis nas documentações técnicas (projeto arquitetônico e complementares).

Para realizar um trabalho eficiente e viável, a equipe envolvida fez uma abordagem projetual arquitetônica a qual atendesse a princípios de conservação de patrimônio público, mantendo os aspectos originais do edifício e atualização dos sistemas construtivos. Dessa forma, considerando os condicionantes e potencialidades construtivas da edificação, a tomada de decisões levou a uma proposta de Retrofit, que seguiu uma linha de pequenas intervenções, aplicando um processo de revitalização que atua modernizando e readequando as atuais instalações para que então, atendam às atuais normas e legislações.

As ações de planejamento foram divididas em duas etapas projetuais: (a) Pré Projeto que engloba o treinamento no uso do Software Revit (BIM), desenvolvimento de comunicação remota entre a equipe e a alimentação simultânea do modelo BIM; (b) Etapas de Projeto que abordasse os estudos de viabilidade técnica, estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo.

Para alimentação do modelo BIM e atualização da documentação gráfica do edifício foram realizadas visitas técnicas no local de maneira a possibilitar melhor compreensão do entorno e cenário que se encontrava o prédio. Nestas visitas, para a realização do levantamento métrico foram utilizadas como base para as novas anotações e medições as plantas baixas impressas em suas versões mais recentes (as quais possuíam inúmeras disparidades com a situação atual do edifício), além de instrumentos básicos como trenas a laser e convencionais. Já para o levantamento fotográfico foram utilizados aparelhos celulares nos ambientes internos e drones para as fachadas e coberturas.

Com o objetivo de auxiliar na compreensão dos cenários que dizem respeito aos projetos complementares, fez-se a busca da documentação existente do prédio. Contudo poucos materiais foram encontrados pelos órgãos competentes da instituição. De qualquer forma, os mesmos foram disponibilizados para que pudessem ser utilizados quando necessário.

No que diz respeito ao projeto hidráulico fez-se necessário a realização de novas visitas técnicas no local, visto que a atenção dessa vez se voltou aos detalhes que dizem respeito as peculiaridades deste projeto. Em alguns ambientes do edifício não foi possível ter acesso a essas informações, nem presencialmente e nem através de documentos. Porém, para a maioria dos casos isso não foi visto como um grande problema, haja visto que a circunstância dos equipamentos lá encontrados manifestava a necessidade de substituição completa.

Para a realização do projeto elétrico, foram realizadas duas visitas ao local com o intuito de analisar as instalações elétricas que já existiam no prédio. A primeira visita foi utilizada para reconhecimento dos andares do prédio e apurar os problemas encontrados nas instalações elétricas, além de entrevistas com usuários do local. Salienta-se que devido à fase de pandemia, não haviam muitos usuários na edificação. Dentre os presentes, foram relatadas quedas de energia elétrica, ocasionando queimas de computadores e outros equipamentos. A segunda visita teve como objetivo observar o tipo de iluminação utilizada nas salas, a localização dos quadros de distribuição, além de repetição de padrão nas instalações elétricas, facilitando o levantamento.

Após o levantamento de todas as instalações do prédio, iniciou-se a fase de alimentação do modelo no programa de forma colaborativa entre os integrantes da equipe. Em uma edificação de grande escala (como a Antiga Reitoria), a utilização da tecnologia BIM foi essencial para atualização das informações gráficas. Por apresentar um resultado complexo e eficaz foi escolhida a utilização da versão estudantil do Revit, qual possibilitou a criação de projetos, infraestruturas e detalhamentos de alto desempenho, atendendo as necessidades do trabalho desenvolvido.

Tendo em vista o cenário de pandemia, decorrente do COVID-19, as possibilidades para trabalho em equipe foram feitas majoritariamente de forma remota. As demandas foram divididas e organizadas de forma com que cada colaborador ficasse responsável por uma categoria arquitetônica da edificação (paredes, lajes e esquadrias).

Todavia, o desenvolvimento do trabalho ocorreu em um modelo central capaz de vincular as informações dos colaboradores em um único arquivo, pois o programa possibilita trabalhos instantâneos com máquinas situadas em uma mesma rede. Porém, como não havia essa possibilidade, as tarefas de cada colaborador foram realizadas em horários diferentes para não ocorrer desconformidades no modelo central. Dessa forma, enquanto acontecia a produção das plantas baixas e a integração entre os projetos complementares, o programa automaticamente gerava os cortes, as fachadas e o próprio modelo 3D, facilitando um entendimento íntegro de toda a edificação.

Prevenindo conflitos na modelagem colaborativa da equipe, o método utilizado deu-se pelo compartilhamento do arquivo central Revit pelo Google Drive, possibilitando atualizações em tempo real dos modelos locais na nuvem, qual gerava e sincronizava com a versão central mais recente nas máquinas. Esse método permitia que apenas um integrante da equipe desenvolvesse a modelagem com sucesso, podendo atrasar a demanda de trabalho. Mas foi a melhor forma encontrada para atualização colaborativa integrada em tempo real.

Destaca-se que a dinâmica do trabalho remoto requereu diferentes aplicativos para comunicação e organização entre os membros da equipe. Para troca instantânea de mensagem foi usado aplicativo o WhatsApp. Na necessidade de reuniões, adotou-se a ferramenta GoogleMeet e o Trello para auxílio no acompanhamento da demanda de alimentação do modelo e das etapas desenvolvidas pelos indivíduos.

4. RESULTADOS

A partir das plantas baixas e cortes fornecidas pelo setor de engenharia e arquitetura da UFSM e vistas técnicas para o levantamento in loco, foram detectadas alterações de layout em algumas salas não constantes em projeto. A figura 2 apresenta um exemplo de planta baixa de um dos pavimentos com as informações desatualizadas e após a atualização dos dados. De posse dessas informações, foi criado o modelo BIM com o projeto arquitetônico atualizado, cujo modelo serviu como base para a inserção das informações dos projetos complementares.



Figura 2 – Planta baixa de um dos pavimentos antes e após a atualização.

No âmbito do projeto hidráulico, a documentação mais recente encontrada sobre o edifício (projetos existentes) não gerou contribuições para a visita técnica e para a alimentação do modelo BIM. Em contrapartida, a visita in loco realizada especificamente para compreender o cenário da edificação foi de grande importância, pois nela foi possível aferir as condições vigentes das tubulações e dar início a proposições de quais poderiam ser as melhores soluções a serem tomadas nas etapas projetuais. A figura 3 apresenta o esquema hidráulico típico dos banheiros da edificação.

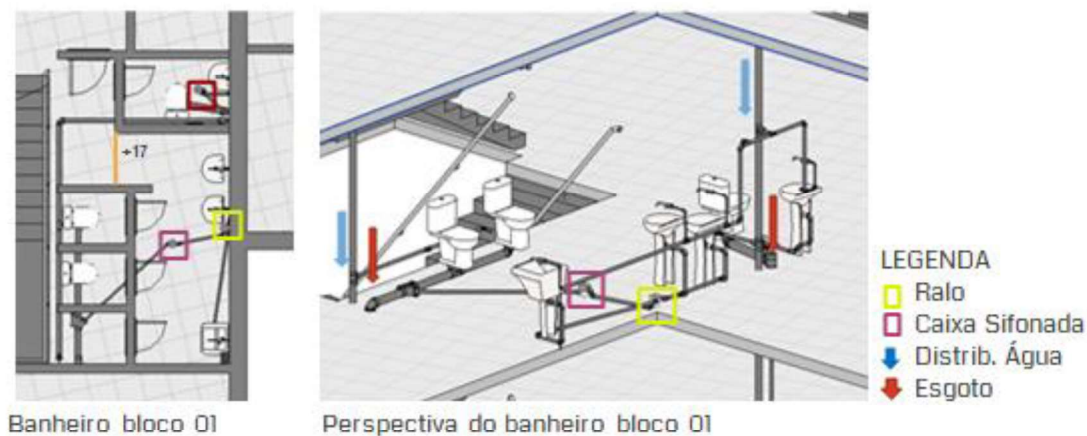


Figura 3 – Esquema hidráulico dos banheiros.

Da mesma forma que os projetos hidrossanitários, os projetos elétricos existentes eram bastante incompletos, cujos projetos datavam das décadas de 60 e 70. Portanto, considerando a data dos projetos, houve aumentos de cargas não previstos em projetos. A solução proposta de atualização dos projetos elétricos foi de prever um novo projeto, desprezando os circuitos existentes.

Assim, foi proposto um novo projeto, procurando aproveitar as tubulações e inclusão de mais quadros de distribuição, quando necessário. Desta forma, foi previsto o uso de iluminação do tipo tubular dupla, e adição de mais um quadro de distribuição no lado direito em cada pavimento (pois já havia um quadro no lado esquerdo), para suprir parte dos circuitos

extras pelo aumento de carga e redução de custos (menor comprimento de fiação até os quadros de distribuição). A figura 4 ilustra o projeto elétrico padrão, previsto para um dos pavimentos da edificação.

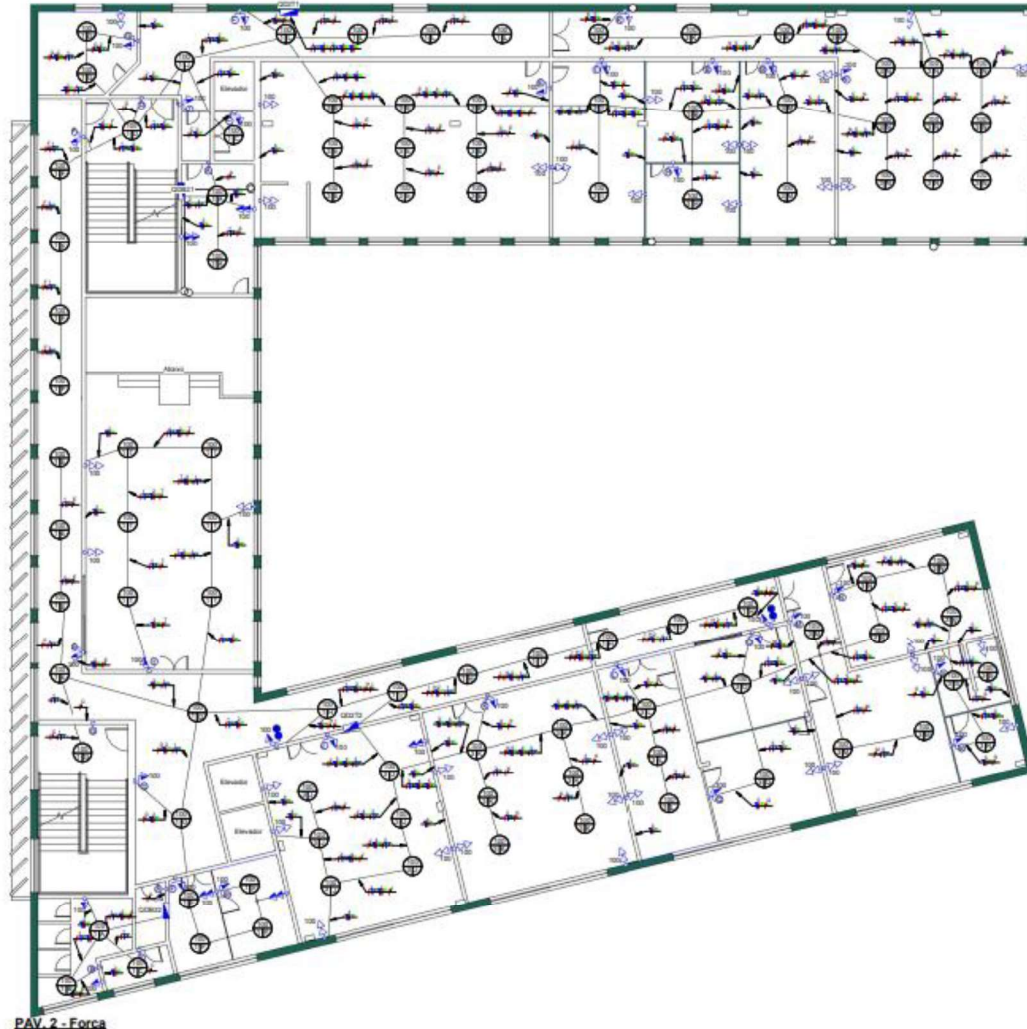


Figura 4 – Projeto elétrico proposto de um dos pavimentos da edificação.

Assim como na etapa de elaboração do projeto arquitetônico, durante as visitas técnicas específicas para os projetos complementares, foram encontrados alguns obstáculos para acessar determinados locais em virtude da falta de manutenção, impedimento por materiais ou risco para os envolvidos. Dentre os locais, destacam-se a cobertura, reservatórios inferiores e subestação de energia.

A adoção da ferramenta BIM para realização dos trabalhos foi positiva visto que é um prédio de interesse público e essa tecnologia permitiu menos desperdícios e menor probabilidade na compatibilização entre os diferentes sistemas da edificação, combinando o projeto arquitetônico, os projetos complementares e demais informações da edificação em um arquivo único.

A capacitação dos envolvidos no uso da ferramenta BIM, adotando uma situação real, trouxe contribuições relativas ao melhor entendimento projetual, visto as dificuldades no desenvolvimento das tarefas (carência de informações documentadas do prédio e necessidade de refazer visitas técnicas). Houve dificuldades advindas principalmente da necessidade de informações precisas, pois a plataforma BIM exige a inserção de dados adequada sob o risco de erros na modelagem e compatibilização dos projetos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizou-se o levantamento e integração de projetos de uma edificação educacional de propriedade da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, conhecida como “Antiga Reitoria” mediante uso de ferramenta BIM. Verificou-se que a referida edificação possuía diversas alterações e reformas não documentadas em projetos.

O levantamento técnico e criação posterior do arquivo BIM foi realizado mediante análise dos projetos existentes (arquitetônico, hidrossanitário e elétrico) e visitas e medições in loco no prédio.

A partir da divisão das atividades entre os membros da equipe envolvida, foi possível a criação do arquivo BIM com as informações arquitetônicas atualizadas. Acerca das instalações complementares (hidrossanitária e elétrica), houve algumas limitações acerca do traçado preciso desses sistemas, contudo não inviabilizaram a realização dos trabalhos, bem como a proposta de retrofit da edificação.

REFERÊNCIAS

- [1] SILVA M. M.; COUTO, J. P. (2020). **BIM aplicado às edificações existentes – desafios e oportunidades na gestão da informação**. 4º Encontro de Conservação e Reabilitação de Edifícios (ENCORE 2020), Lisboa, Portugal.
- [2] BASTIAN, A. V. **Métodos e técnicas de baixo custo para levantamento métrico de sítios históricos**. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, 2015.
- [3] JUNIOR, D. H.; PADILHA, M. (2015). **Emprego de tecnologias em levantamento e diagnóstico de edificações históricas de laguna**. VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção (TIC 2015), Recife.
- [4] Chaves, F. J.; Tzortzopoulos, P.; Formoso, C. T.; Biotto, C. N. (2017). **Building information modelling to cut disruption in housing retrofit**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability, 170 (6).
- [5] Tzortzopoulos, P.; Ma, L.; Soliman Junior, J.; Koskela, L. (2019). **Evaluating Social Housing Retrofit Options to Support Clients’ Decision Making—SIMPLER BIM Protocol**. Sustainability, 27 (6).
- [6] MARTINS Jr., J. V. **Processos colaborativos e integração de projetos com auxílio da plataforma BIM: uma análise no meio profissional de Natal-RN**. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2018.
- [7] Ruschel, R. C.; Andrade, M. L. V. X. de; Morais, M. de (2013). **O ensino de BIM no Brasil: onde estamos?**. Ambiente Construído, 13 (2).
- [8] Chamado de ‘O Gole de 2016’, o curso dividiu opiniões. **UFSM na Mídia**, 2016. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/midia/?p=43286/>>. Acesso em: 12 de Maio de 2022.
- [9] BRASIL. **Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019**. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling.
- [10] BRASIL. **Decreto nº 10.306, de 02 de abril de 2020**. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling.

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

A INFLUÊNCIA DA CRISE PANDÊMICA DE COVID-19 NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DE CASO SOB A PERSPECTIVA DE UMA EMPRESA DO SEGMENTO EM PALMAS/TO

BUCAR, Andressa¹; SOTO, Indara²; ITOZ, Clarete de³

¹ Universidade Federal do Tocantins, Palmas/TO, Brasil, addressagbucar@gmail.com

² Universidade Federal do Tocantins, Palmas/TO, Brasil, 0000-0001-6411-331X

³ Universidade Federal do Tocantins, Araguaína/TO, Brasil, 0000-0003-4048-142X

RESUMO

A cadeia de suprimentos é o conjunto de atividades, setores, pessoas e recursos envolvidos no processo de fabricação, armazenagem e transporte de um produto ao cliente final. Com a pandemia de COVID-19 no Brasil muitas cadeias de suprimentos foram prejudicadas e diversos setores como a construção civil sofreram com a indisponibilidade ou escassez de insumos e matérias primas, elevações de preços ou mesmo a revisão de condições comerciais. O objetivo desse estudo de caso é avaliar os reflexos absorvidos por uma empresa de construção civil em Palmas/TO no contexto pandemia. As informações foram obtidas através de dados internos da companhia e, podendo-se comparar com índices nacionais, constatando-se que assim como outras empresas, a companhia foco do estudo também teve seus resultados impactados pela pandemia. Por fim, foram apresentadas ações que as empresas devem ponderar no caso de serem atingidas no futuro por outras crises com características semelhantes.

Palavras-chave: Gerenciamento; Suprimentos; Construção; Covid-19.

ABSTRACT

The "Supply Chain" is the set of activities, sectors, people and resources involved in the process of manufacturing, storing and transporting a product to the final customer. With the COVID-19 pandemic in Brazil, many supply chains were damaged and several sectors such as civil construction suffered from the unavailability or shortage of inputs and raw materials, price increases or even the review of commercial conditions. The objective of this case study is to evaluate the reflexes absorbed by a construction company in Palmas/ TO in the pandemic context. The information was obtained through the company's internal data and, comparing with national indices, it was found that, like other companies, the company focused on the study also had its results impacted by the pandemic. Finally, actions were presented that companies should consider in case they are hit in the future by other crises with similar characteristics.

Keywords: Management; Supplies; Construction; Covid-19.

1. INTRODUÇÃO

Em 2020, o Comitê Internacional de Taxonomia de Vírus identificou o SARS-CoV-2 como agente patogênico da doença e essa recebeu a nomenclatura "COVID-19". Além da perda de milhões de vidas humanas, a doença gerou uma crise severa na economia global pois muitas das regiões afetadas estavam no centro de cadeias de suprimentos mundiais e o lockdown feito em diversos países gerou rupturas nas cadeias de abastecimento, escassez de insumos, desequilíbrio entre oferta e procura de produtos, diminuição do fluxo de mercadorias etc.

Estudos da FIESP [1] apontam que todos os insumos sofreram aumento de preços ao longo do ano. No topo dos materiais mais reajustados estão o aço, plástico e PVC, alumínio, cobre etc., que são matéria prima de muitos materiais utilizados na construção civil.

Um artigo da EY Consulting Brasil [2] mostra que rapidamente esses efeitos puderam ser sentidos por compradores e analistas de suprimentos, que foram pressionados pelos fornecedores a revisar as condições comerciais e contratos assinados anteriormente sob risco de deixarem as obras desabastecidas ou até mesmo paralisadas. Em alguns casos,

mesmo aceitando o reajuste de valores, as equipes de produção tiveram seus cronogramas impactados com os atrasos na entrega de materiais.

Este estudo tem por objetivo descrever as causas, impactos e reflexos provocados na Cadeia de Suprimentos de uma empresa de construção civil no cenário da crise sanitária e humanitária de Covid-19. Dessa forma, procurou-se identificar quais foram os impactos decorrentes do processo pandêmico apresentando um panorama sobre os prejuízos absorvidos pela empresa nas categorias de estudo.

O surto de Covid-19 deixou claro para diretores, executivos e engenheiros das empresas que será necessário arquitetar e idealizar novas estratégias na gestão das cadeias de abastecimento focadas na adaptação e maleabilidade em relação ao mercado, a fim de atenuar impactos, atualizar os processos e conseguir ganhos financeiros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Porter [3] resume que a cadeia de suprimentos é um agrupado de cadeias de valor ou a composição de elos que formam um processo econômico que começa com a matéria-prima e chega até à distribuição do produto acabado. Em cada etapa da cadeia é agregado valor, sendo essa a quantia que os consumidores finais estão dispostos a pagar por um determinado produto ou serviço

Considerando o propósito de agregar valor ao produto é essencial que os processos logísticos estejam focados na satisfação do cliente e, para isso, deve-se conhecer suas necessidades, como esclarece Novaes [4]. Assim, as informações percorrem todo o fluxo da cadeia. Já os materiais passam do fornecedor primário para a manufatura, distribuidores, varejistas até que chegue ao consumidor, enquanto o dinheiro faz o percurso inverso, conforme detalhado na Figura 1:



Figura 1 - Fluxos Logísticos. [4]

Dessa forma, o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (SCM) surgiu quando gestores e operadores logísticos identificaram necessidade de gerenciar as atividades logísticas das empresas, objetivando um melhor desempenho das cadeias de suprimentos e satisfação de seu cliente.

3. METODOLOGIA

A pesquisa consiste na averiguação dos impactos (relacionados a custo, atrasos nas entregas ou escassez) sofridos por uma empresa do segmento Construção Civil em Palmas/TO nos meses de março de 2020 a maio de 2021 da pandemia de Covid-19, onde a companhia possuía três obras ativas conforme Tabela 1:

Tabela 1 - Tipologia e número de unidades habitacionais de cada obra.

| Obra | Cronograma (Início Previsto) | Tipologia | Número de UH |
|--------|--|-----------------|--------------|
| Obra 1 | Entrega: Setembro/2020 | 12 Blocos/5pav. | 240 |
| Obra 2 | Fundação: Maio/2020 Parede: Agosto/2020 | 12 Blocos/4pav. | 192 |

| | | | |
|---------------|---|-----------------|-----|
| Obra 3 | Fundação: Setembro/2020 Parede: Janeiro/2021 | 2 Torres/14pav. | 224 |
|---------------|---|-----------------|-----|

As categorias de estudo foram escolhidas com base em sua representatividade na curva ABC de materiais comprados no período, como também pela frequência de compra (a fim de se avaliar sua variação mensal), e somente aqueles nos quais o frete contratado é CIF (incluso no valor do produto), sendo que todos esses dados foram extraídos de dados internos da empresa via software ERP (Enterprise Resource Planning/Planejamento dos Recursos da Empresa), os quais estão dispostos na Tabela 2:

Tabela 2 - Categorias de estudo e representatividade na curva ABC da construtora.

| Item | Segmento | Representatividade na curva ABC |
|------|--------------------------|---------------------------------|
| 1 | Concreto | 14,94% |
| 2 | Aço (vergalhões e telas) | 14,11% |
| 3 | Fios e Cabos | 3,46% |
| 4 | Refeições | 2,09% |
| 5 | Instaladora hidráulica | 1,94% |

Posterior ao processo de coleta, análise e tratamento dos dados, foi feita uma disposição resumida e simplificada dos resultados obtidos por meio de tabelas dinâmicas, porcentagens e gráficos de forma que foi possível identificar os impactos rapidamente, especialmente o financeiro.

4. ANÁLISE E RESULTADOS

Nesta etapa foram descritas as categorias e variações relatadas em cada uma delas, sendo a sequência de análise dos dados obtidos respectivamente: Volume de consumo, prazo médio de pagamento, variação de preço e porcentagem de atrasos.

4.1. Concreto Usinado

O concreto usinado é a categoria com maior spend, visto que a metodologia construtiva adotada por ela é a de paredes de concreto autoadensável moldadas in loco com o uso de formas de alumínio.

No que se refere a prazo médio de pagamento, nota-se que em maio de 2020 houve um pico da condição acordada em relação ao praticado anteriormente, isso se deve ao fato de a empresa ter adotado estratégias de negociação no início da pandemia para conter uma eminente crise. Posteriormente o prazo médio de pagamento se manteve constante pelo resto do ano, sem oscilações como mostra a Figura 1.

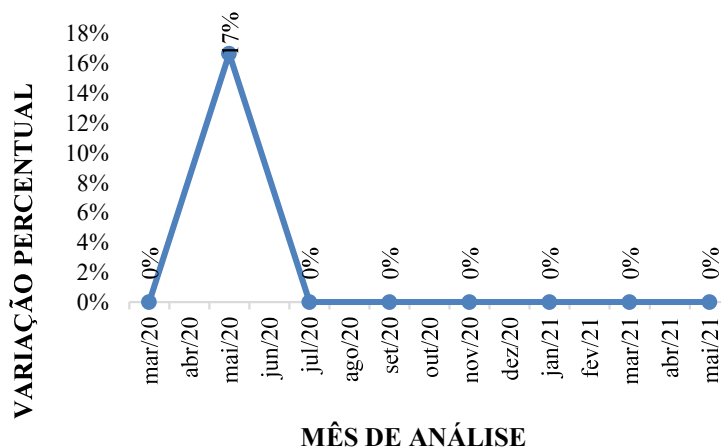


Gráfico 1 - Variação do prazo médio de pagamento de concreto usinado (março de 2020 a maio de 2021).

O valor do cimento subiu exorbitantemente no ano de 2020, porém isso não se refletiu nos preços negociados entre a empresa foco do estudo e o fornecedor de concreto no Tocantins devido ao fato de este ser produtor de cimento e porque havia um acordo de preços vigente que impedia esse tipo de solicitação. Como pode ser observado na Tabela 3, a concreteira repassou somente em abril de 2021 o reajuste de preços de 6,95% equivalente ao do INCC neste período.

Tabela 3 - Variação de preço dos itens da categoria de concreto (março de 2020 a maio de 2021).

| Item | Descrição | mar/20 | mar/21 | Acumulado 15 meses |
|--|---|--------|--------|--------------------|
| 1 | SERVICO DE BOMBEAMENTO DE CONCRETO - BOMBA LANÇA - M3 BOMBEADO | - | 6,95% | 6,95% |
| 2 | CONCRETO AUTOADENSAVEL - FCK=20 SEIXO 0 FLOW 70±05CM | - | 6,95% | 6,95% |
| 3 | CONCRETO ESTRUTURAL - FCK=25 SEIXO 0 SLUMP 12 A 14±2CM | - | 6,95% | 6,95% |
| 4 | CONCRETO FUNDACAO - FCK=30 DIAM. AGREGADO 4,75MM A 12,5MM SLUMP ENTRE 220MM E 260MM | - | 6,95% | 6,95% |
| 5 | CONCRETO ESTRUTURAL - FCK=30 BRITA 0 SLUMP 12 A 14±2CM | - | 6,95% | 6,95% |
| 6 | ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO INTERNO/EXTERNO 0,3MPA | - | 6,95% | 6,95% |
| Reajuste médio da categoria em 15 meses | | | | 6,95% |

O percentual de atraso nas entregas não foi analisado, pois a concreteira situa-se na cidade de Palmas e os agendamentos de concretagem eram feitos semanalmente pelos engenheiros responsáveis pela obra.

4.2. Aço

As paredes de concreto, que normalmente variam de 10 a 14cm, são armadas com telas de aço soldadas com as especificações de fio e malha definidas no projeto estrutural de cada empreendimento. Por conta desse fator e do alto valor agregado o aço se configura como o segundo item mais representativo na curva ABC da empresa.

O prazo médio de pagamento com o fornecedor que teve uma queda abrupta no mês de janeiro de 2021, como mostra o Gráfico 2. Essa foi uma estratégia adotada para conseguir melhores condições de entrega e preço visto que, durante o ano, houve problemas de escassez de produtos e as obras ficaram desabastecidas.

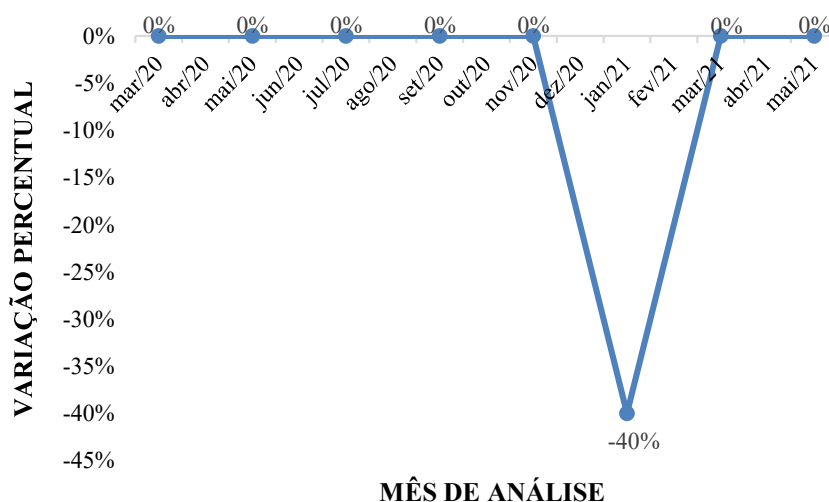
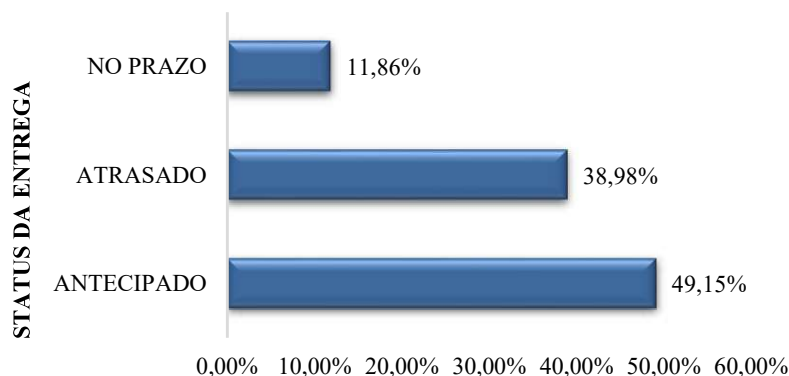


Gráfico 2 - Variação do prazo médio de pagamento de aço (março de 2020 a maio de 2021).

De 59 pedidos efetuados neste período, 61% foram entregues dentro do prazo acordado, entretanto houve problemas com atraso em 39% deles, ou seja, 23 pedidos, como mostra o Gráfico 3, dentre os motivos alegados pela siderúrgica o principal e mais frequente era a falta de matéria prima.



PORCENTAGEM DE INCIDÊNCIA

Gráfico 3 - Efetividade na entrega de aço (março de 2020 a maio de 2021).

Por fim pode-se analisar que os aumentos sentidos no mercado também refletiram na companhia, onde os reajustes médios acumulados ao longo dos meses de estudo chegam a 53,34% conforme relatado na Tabela 4 que apresenta somente os meses em que houve variações.

Tabela 4: Variação de preço dos itens da categoria de aço (março de 2020 a maio de 2021).

| Item | Descrição do Produto | UM | mar/20 | mai/20 | set/20 | nov/20 | jan/21 | Acumulado 15 meses |
|--|--|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| 1 | VERGALHAO DE ACO CARBONO NERVURADO CA50 08,0MM - BARRA RETA | KG | 0,0% | 4,78% | 0,12% | 51,81% | 0,00% | 56,72% |
| 2 | VERGALHAO DE ACO CARBONO NERVURADO CA50 10,0MM - BARRA RETA | KG | 0,0% | 2,91% | -0,06% | 52,10% | 0,00% | 54,95% |
| 3 | TELA DE ACO CARBONO CA60 NERVURADA SOLDADA MALHA 100X100MM FIO 03,8MM 245X600CM - Q113 | UN | 0,0% | 9,21% | 0,00% | 0,00% | 44,40% | 53,61% |
| 4 | TELA DE ACO CARBONO CA60 NERVURADA SOLDADA MALHA 150X150MM FIO 04,2MM 245X600CM - Q092 | UN | 0,0% | 9,60% | 0,00% | 0,00% | 44,40% | 54,00% |
| 5 | TELA DE ACO CARBONO CA60 NERVURADA SOLDADA MALHA 100X100MM FIO 04,2MM 245X600CM - Q138 | UN | 0,0% | 9,25% | 0,00% | 0,00% | 44,40% | 53,65% |
| 6 | TELA DE ACO CARBONO CA60 NERVURADA SOLDADA MALHA 100X100MM FIO 05,0MM 245X600CM - Q196 | UN | 0,0% | 9,30% | 0,00% | 0,00% | 44,40% | 53,71% |
| 7 | TELA DE ACO CARBONO CA60 NERVURADA SOLDADA MALHA 100X100MM FIO 10,0MM 245X600CM - Q785 | UN | 0,0% | 2,32% | 0,00% | 0,00% | 44,40% | 46,72% |
| Reajuste médio da categoria em 15 meses | | | | | | | | 53,34% |

4.3. Instaladora Elétrica

Um dos motivos pelos quais existe uma rapidez na execução das obras é a adoção de kits elétricos e hidráulicos que garantem padronização de processos e um maior controle na qualidade. Essas duas categorias também entram como algumas das mais expressivas nos custos da empresa

Durante os 15 meses de estudo houve dois fornecedores atendendo a regional Tocantins, sendo que o segundo foi homologado no mês de setembro de 2021 por apresentar uma proposta melhor do que o principal fornecedor anterior, entretanto o prazo de pagamento deste era bem inferior como mostra o Gráfico 4:

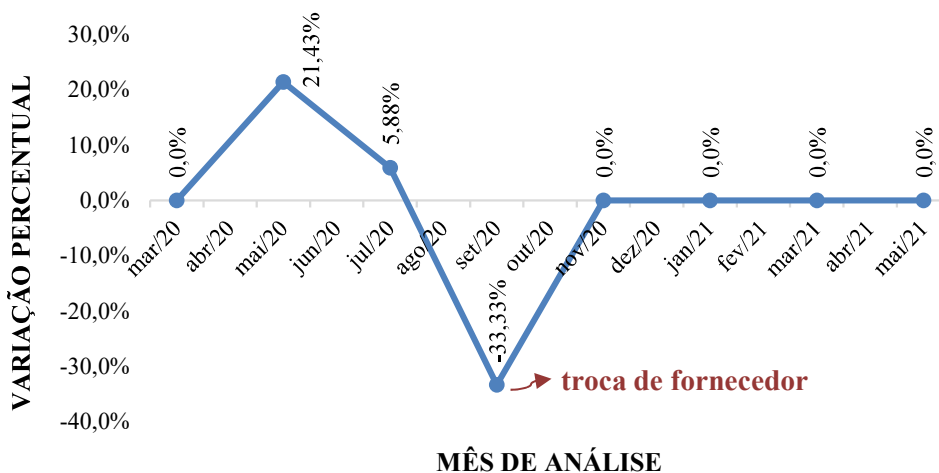


Gráfico 4 - Variação do prazo médio de pagamento de fios de cobre (março de 2020 a maio de 2021).

Com a eminência de novas altas no preço do cobre, as obras anteciparam seus pedidos, sendo que neste período foram efetuados então apenas 8 com a maior parte do que seria utilizado nos blocos/torres. Dos pedidos realizados, seis foram comprados com o primeiro fornecedor e dois com o último a ser homologado, todos foram entregues dentro do prazo acordado ou antecipadamente, segundo Gráfico 5:

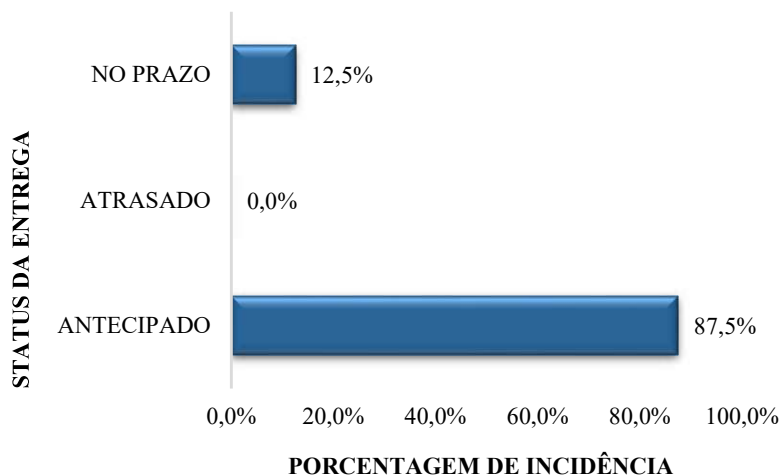


Gráfico 5 - Efetividade na entrega de aço (março de 2020 a maio de 2021).

Essa categoria apresentou reajustes constantes, observados em todos os meses de estudo como é possível confirmar na Tabela 5.

Tabela 5 - Variação de preço da categoria de instaladora elétrica (março de 2020 a maio de 2021).

| Item | Descrição do Produto | UM | mai/20 | jul/20 | set/20 | nov/20 | jan/21 | mar/21 | mai/21 | Acumulado em 15 meses |
|--|--|----|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|-----------------------|
| 1 | CABO COBRE FLEXIVEL 70° 750V 2,5MM² AZUL | M | 4,26% | 18,37% | 87,93% | -9,17% | 0,00% | 15,15% | 7,02% | 123,55% |
| 2 | CABO COBRE FLEXIVEL 70° 750V 2,5MM² PRETO | M | 4,26% | 18,37% | 87,93% | -9,17% | 0,00% | 15,15% | 7,02% | 123,55% |
| 3 | CABO COBRE FLEXIVEL 70° 750V 2,5MM² VERDE | M | 4,26% | 18,37% | 87,93% | -9,17% | 0,00% | 15,15% | 7,02% | 123,55% |
| 4 | CABO COBRE FLEXIVEL 70° 750V 1,5MM² AMARELO | M | 4,26% | 18,37% | 87,93% | -9,17% | 0,00% | 15,15% | 7,02% | 123,55% |
| 5 | CABO COBRE FLEXIVEL 70° 750V 1,5MM² PRETO | M | 2,70% | 9,21 % | 112,05% | -11,36% | 0,00% | 14,74% | 7,26% | 134,60% |
| 6 | CABO COBRE FLEXIVEL HEPR/90° 1KV 16MM² AZUL | M | 2,70% | 9,21% | 112,05% | -11,36% | 0,00% | 14,74% | 7,26% | 134,60% |
| 7 | CABO COBRE FLEXIVEL HEPR/90° 1KV 16MM² PRETO | M | 2,70% | 9,21% | 112,05% | -11,36% | 0,00% | 14,74% | 7,26% | 134,60% |
| 8 | CABO COBRE FLEXIVEL HEPR/90° 1KV 10MM² VERDE | M | 2,82% | 9,62% | 79,95% | 1,95% | -9,15% | 15,04% | 6,93% | 107,15% |
| Reajuste médio da categoria em 15 meses | | | | | | | | | | 125,64% |

4.4. Refeições

As refeições representam uma das mais complexas categorias de fornecimento já afetam diretamente os trabalhadores da obra, portanto é comum que qualquer problema que ocorra nessa categoria acometa a sequência de produção e o cronograma de entrega do empreendimento.

Esta caracteriza-se como uma categoria de fornecimento múltiplo, já que durante o período de análise houve mais de um fornecedor. O primeiro fornecedor foi substituído em maio de 2021 após recorrentes reclamações da refeição fornecida. Com a troca, houve uma queda no prazo de pagamento, já que o novo fornecedor não conseguiria atender com o prazo praticado anteriormente, como mostra o Gráfico 6:

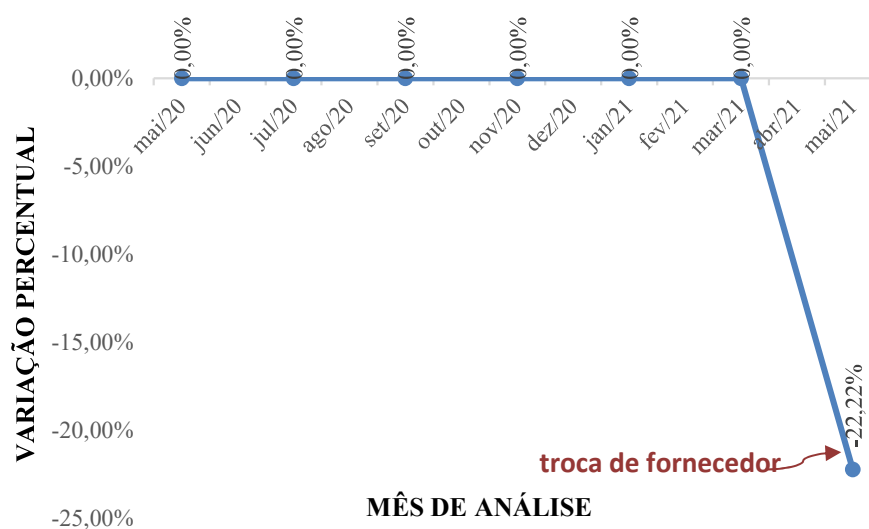


Gráfico 6 - Variação do prazo médio de pagamento de refeições (março de 2020 a maio de 2021).

A Tabela 6 mostra os reajustes em cada item de março de 2020 a maio de 2021 que em média chegam a 23,18%.

Tabela 6 - Variação de preço dos itens da categoria de refeições (março de 2020 a maio de 2021).

| Item | Descrição do Produto | UM | mar/20 | nov/20 | mai/21 | Acumulado em 15 meses | |
|------|---------------------------------------|----|--------|--------|--|-----------------------|--------|
| 1 | REFEICAO SELF SERVICE | UN | 0,0% | 6,25% | 11,76% | 18,01% | |
| 2 | CAFE DA MANHA SERVIDO EM OBRA | UN | 0,0% | 17,65% | 25,00% | 42,65% | |
| 3 | REFEICAO MARMITEX - GRANDE | UN | 0,0% | 6,25% | 11,76% | 18,01% | |
| 4 | LANCHE ADICIONAL - EQUIPE CONCRETAGEM | UN | 0,0% | 0,00% | 16,67% | 16,67% | |
| | | | | | Reajuste médio da categoria em 15 meses | | 23,84% |

Embora o café da manhã tenha sido reajustado em mais de 42%, este não é tão expressivo já que possui um baixo valor agregado, sendo assim, os reajustes menores em outros itens tendem a causar mais impacto no custo das obras.

A alta do preço das refeições, principalmente nos itens de alimentação mais básicos, está diretamente ligada a desvalorização do real em relação ao dólar, o que eleva o preço das commodities e gera uma inflação que em outubro de 2021 chega a 9,68% segundo dados do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA).

4.5. Instaladora Hidráulica

Trata-se de uma categoria de fornecimento múltiplo, já que neste período houveram dois diferentes fornecedores de tubos do tipo PEX, dois para os tubos de PVC e um para os tubos PEAD.

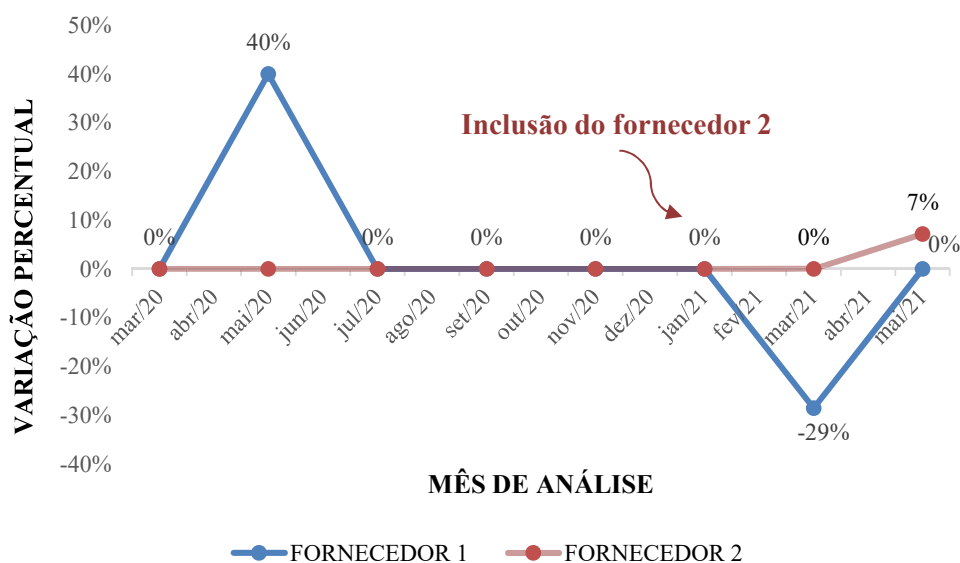
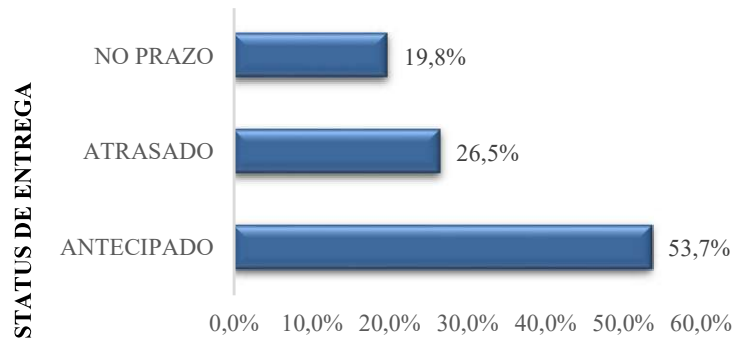


Gráfico 7 - Variação do Preço Médio de Pagamento de tubos de PVC (março de 2020 a maio de 2021).

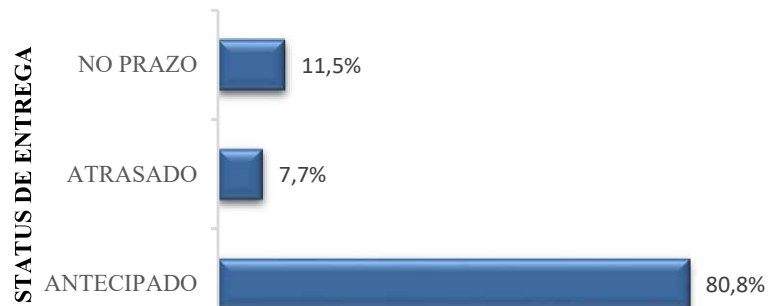
Dos 162 pedidos efetuados, 73,5% foram entregues antecipadamente/dentro do prazo acordado, enquanto 26,5% foram entregues atrasados, conforme Gráfico 8.



PORCENTAGEM DE INCIDÊNCIA

Gráfico 8 - Efetividade na entrega de tubos de PVC (março de 2020 a maio de 2021).

No conjunto de tubos PEX, tem-se 26 pedidos realizados com 92,3% de efetividade na entrega, conforme apresenta o Gráfico 9.



PORCENTAGEM DE INCIDÊNCIA

Gráfico 9 - Efetividade na entrega de tubos PEX (março de 2020 a maio de 2021).

A categoria também foi uma das que mais sofreu com aumento de preços fator que se deve diretamente a redução da produção de resinas plásticas no segundo semestre de 2020. O reajuste médio da categoria em 15 meses foi de 58,89%.

O Gráfico 10 apresenta as variações percentuais de reajustes de preço acumulado ao longo dos meses de estudo, sendo que os itens de instaladora elétrica apresentaram as maiores alternâncias e o concreto usinado as menores.

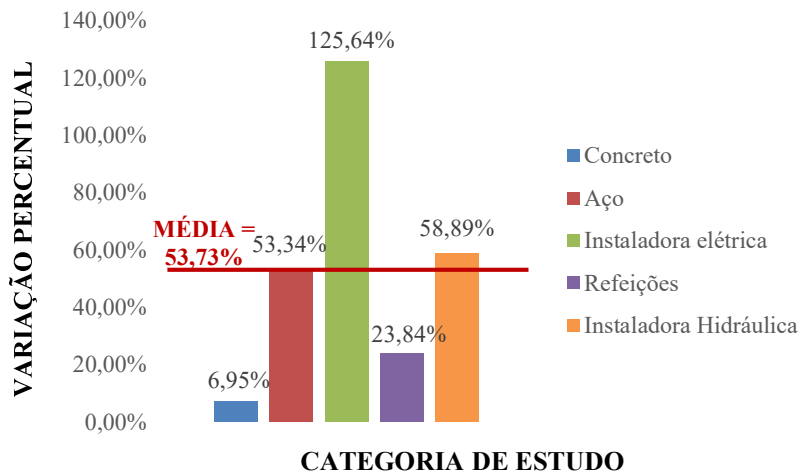


Gráfico 10 - Reajuste médio de preço por categoria (março de 2020 a maio de 2021).

O Gráfico 11 dispõe sobre o resumo da análise de prazos de pagamento:

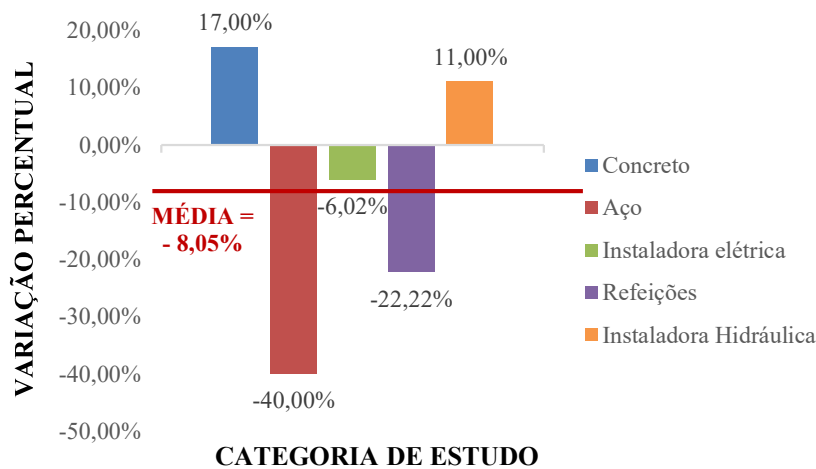


Gráfico 11 - Reajuste médio de PMP por categoria (março de 2020 a maio de 2021).

Por fim, o Gráfico 12 resume as informações de atraso na entrega das mercadorias, sendo que somente o aço e a instaladora elétrica apresentaram atrasos. Cabe lembrar que, como mencionado anteriormente, as refeições e o concreto não apresentaram atrasos pois os fornecedores estão situados na mesma cidade onde estão sendo ou foram construídos os empreendimentos.

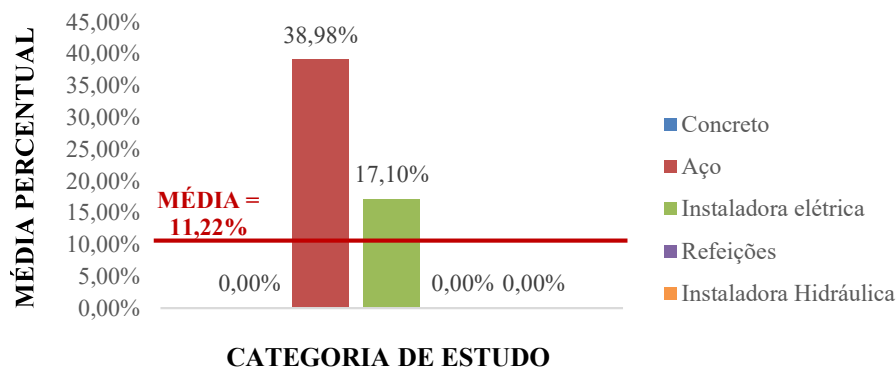


Gráfico 12 - Porcentagem média de atraso por categoria (março de 2020 a maio de 2021).

Ainda não é possível prever uma estabilização dos impactos causados em decorrência da COVID-19 pois existem barreiras legais e fiscais e restrição de deslocamento na importação dos produtos, o que dificulta a continuidade de atividades na construção civil e lançamento e comercialização de imóveis que estavam em alta desde o ano de 2019. A desvalorização do real e o insucesso de intervenções políticas também influenciam o aumento de preços de commodities.

Dessa forma, em momentos de instabilidade é importante construir um plano de resposta aos impactos para a resiliência das cadeias de suprimentos. Para evitar prejuízos em possíveis situações de crises com características similares, as empresas devem:

- Ter pleno conhecimento de sua(s) cadeia(s) de suprimentos;
- Avaliar a situação atual e recomendações de especialistas;
- Reconhecer os impactos mais críticos para o negócio;
- Criação de um plano de ação que mobilize recursos necessários no momento certo;
- Definir os indicadores necessários para analisar a atual conjuntura;
- Ajustar o plano de ação de acordo com o fluxo de dados e ocorrências;

5. CONCLUSÕES

A resiliência das cadeias de suprimentos em tempos de crise que passou a vir à tona após a crise mundial decorrente da pandemia e possui grande relevância para qualquer empresa. Por meio desse estudo, buscou-se analisar quais foram os reflexos gerado pela crise em uma empresa do segmento da construção civil em Palmas/TO.

Os resultados obtidos apontam que a empresa na qual este estudo foi baseado, embora seja uma das maiores do segmento no país, também sofreu grande com as consequências geradas pela doença no mundo, principalmente no que diz respeito a importação de produtos, já que muitas fronteiras foram fechadas ou bloqueadas, fábricas foram paralisadas ou tiveram seu número de funcionários reduzido e até mesmo pelas mudanças no padrão de consumo.

A partir destes resultados nota-se que, dos grupos de estudo escolhidos, aqueles que contam com itens de commodities foram os mais impactados, fator que se deve à inflação por conta da desvalorização do real frente ao dólar, fracasso de políticas econômicas e medidas de saúde pública adotadas durante a pandemia, instabilidade política, dentre outros motivos.

A relevância do estudo está no fato de ser primordial analisar os reflexos sofridos por empresas durante crises econômicas pois estas influenciam diretamente a vida das pessoas. O Brasil enfrenta uma das maiores crises econômicas de sua história e é necessário que gestores se atentem a essas mudanças visando enxergar e obter oportunidades de crescimento.

REFERÊNCIAS

- [1] FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Matérias primas - Oferta na recuperação da economia**. São Paulo, 2020. Disponível em: <http://www.ciesp.com.br/jundiai/files/2020/10/Relat%C3%B3rio-Mat%C3%A9rias-PrimasOferta-na-recupera%C3%A7%C3%A3o-da-Economia-2.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2021.
- GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- [2] EY CONSULTING BRASIL. COVID-19: como construir cadeias de suprimento resilientes à disrupção. 2020. Disponível em: https://www.ey.com/pt_br/consulting/how-to-build-a-supply-chain-thats-resilient-to-global-disruption. Acesso em: 06 abril 2021.
- [3] PORTER, M. E. **Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior**. 27. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1989.
- [4] NOVAES, Antônio G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- [5] ANDRÉ, Marli. **O que é um estudo de caso qualitativo em educação?** Revista da FAEEBA – Educação e Contemporaneidade, v. 22, n 40, p. 95-103, 2013.
- [6] BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre. Bookman, 2006.
- [7] BOWERSOX, Donald J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos**. 1. ed. São Paulo. Atlas, 2006
- [8] CHEN, I. J.; PAULRAJ, A. **Towards a theory of supply chain management: Constructs and measurements**. Journal of Operations Management, v. 22, p. 119-150, 2004.
- [9] CLM (COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT). **World Class Logistics: The challenge of Managing Continuous Change**. United State of America: Oak Book, 1995.
- [9] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Sondagem Especial**. 77. ed. BrasíliaDf, 2020. Disponível em: https://static.poder360.com.br/2020/10/pesquisa-insumos-materiaprima-cni-pandemia-22.out_.pdf. Acesso em: 03 abril 2021.

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

MAPEAMENTO DAS PRODUTIVIDADES DE MÃO DE OBRA DA ETAPA ESTRUTURAL DE UMA OBRA EM CONCRETO ARMADO

PEREIRA, Ana Paula Gempka¹; MALHEIROS, Caio Luís Lemos²; NUNES, Renan Michenko³; CAPRARO, Ana Paula Brandão⁴

¹ Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, anagempka@gmail.com, 0000-0003-0583-7160

² Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, caiomalheiros01@gmail.com, 0000-0002-6999-1135

³ Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, michenkonunes@gmail.com, 0000-0002-7738-8600

⁴ Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, anapcapraro@gmail.com, 0000-0001-6270-6568

RESUMO

Perante o atual cenário competitivo no setor da construção civil faz-se cada vez mais necessário o mapeamento dos processos construtivos, visando o aumento da produtividade e qualidade. A otimização das atividades da fase estrutural é de grande importância, visto que representam boa parte dos custos de uma construção e fazem parte do caminho crítico da obra. Diante do exposto, o trabalho tem a finalidade de mapear as produtividades de mão de obra da etapa estrutural de uma obra em concreto armado, executada por uma construtora atuante na cidade de Curitiba-PR, com o objetivo de auxiliar os responsáveis técnicos na tomada de decisões que aumentem a produtividade. Foram levantados dados em campo com a finalidade de obter o índice Razão Unitária de Produção (RUP) como forma de avaliar a produtividade de mão de obra da etapa estrutural. Foram obtidas as RUPs diárias de cada pavimento e atividade analisados. A grande maioria dos índices calculados estão dentro das faixas de variação indicadas pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), que varia de 0,016 a 1,656 H.h/m² para os carpinteiros e 0,0094 a 0,2245 H.h/kg para os armadores.

Palavras-chave: Produtividade; Estrutural; Caminho Crítico; Ciclo de concretagem.

ABSTRACT

Taking account the current competitive scenario in the civil construction sector, it is increasingly necessary to map the construction processes, aiming at increasing productivity and quality. The optimization of the activities of the structural phase is of great importance, since they represent a good part of the costs of a construction and are part of the critical path of the work. In view of the above, the work aims to map the labor productivity of the structural stage of a work in reinforced concrete, carried out by a construction company operating in the city of Curitiba-PR, with the objective of assisting the technicians in charge of making decisions that increase productivity. Field data were collected in order to obtain the Production Unit Ratio (PUR) index as a way of evaluating the labor productivity of the structural stage. The calculated indices are within the variation ranges indicated by the National System for Research of Costs and Indexes of Civil Construction (SINAPI), which varies from 0.016 to 1.656 H.h/m² for carpenters and 0.0094 to 0.2245 H.h/kg for the shipowners.

Keywords: Productivity; Structural; Critical Path; Concreting cycle.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil tem grande participação no crescimento econômico do Brasil. De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção [1], a cada milhão de reais investidos, a indústria da construção civil gera aproximadamente oito empregos diretos e onze empregos indiretos; que geram R\$492.000 e R\$772.000 sobre o PIB, respectivamente. Boa parte dos investimentos do setor da construção retorna como PIB, emprego, imposto e renda.

Esse potencial de crescimento e a grande demanda do setor resultam em um número significativo de empresas na área da construção civil. Em 2019, o número de estabelecimentos no Brasil era de 200.214, segundo a CBIC [1]. Esse cenário de competitividade faz com que as construtoras se preocupem em reduzir custos, otimizar recursos, melhorar a qualidade dos serviços, reduzir o tempo de execução e aumentar a produtividade de suas obras.

A execução da estrutura dos edifícios é de extrema importância, pois faz parte do caminho crítico de uma obra, e, segundo o Guia PMBOK [2], o caminho crítico é a sequência de atividades que representa o caminho mais longo de um projeto, que determina a menor duração possível do mesmo. O caminho crítico impede que outras atividades sejam iniciadas antes da sua conclusão, como vedações, instalações e revestimentos. A etapa estrutural da solução em concreto armado pode ser dividida em: sistema de fôrmas, armadura e concretagem. Segundo Tisaka [3], se atrasar o prazo inicial, os custos aumentam e pode-se sofrer prejuízo. Ao contrário, se a obra é feita no prazo menor do que o previsto, os ganhos são maiores. Atrasos na execução de qualquer uma das fases da etapa estrutural acarretam, necessariamente, em adiamento da conclusão da obra, podendo causar prejuízos financeiros para a construtora.

Este trabalho apresenta o mapeamento das produtividades de mão de obra dos carpinteiros e armadores durante a execução das vigas, pilares e lajes da obra de um edifício residencial, executado em concreto armado por uma construtora atuante na cidade de Curitiba-PR. A obra contempla duas torres com oito pavimentos cada e dois apartamentos por andar.

O objetivo foi acompanhar a produção de fôrmas e armações de cinco pavimentos tipo de uma das torres do empreendimento, a fim de avaliar os índices de produtividade alcançados pelos colaboradores, compará-los com a literatura existente e discutir sobre possíveis eventos que possam ter interferido nos resultados. Esses dados foram avaliados a partir do levantamento de quantitativo de materiais, número de colaboradores e tempo utilizado para cada atividade realizada na obra. O estudo pode auxiliar os profissionais responsáveis na tomada de decisões em futuras obras semelhantes, com a finalidade de melhorar a produtividade da fase estrutural.

O mapeamento das produtividades mostra a efetividade real das equipes, bem como alerta para possíveis reduções no tempo do ciclo de concretagem e elimina possíveis atrasos no tempo de entrega da obra.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produtividade

O grande número de empresas no setor da construção civil, como já citado anteriormente, fez com que a competitividade crescesse e, conseqüentemente, fosse necessário aumentar a produtividade. Segundo Mattos [4], produtividade é definida como a taxa de produção de uma pessoa ou equipe ou equipamento, isto é, a quantidade de unidades de trabalho produzida em um intervalo de tempo especificado, normalmente hora. O autor conclui que a produtividade é aumentada quando se gasta um menor tempo na produção de mais produtos.

Para o Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil [5], produtividade é a eficiência em transformar recursos em produtos. Tem-se uma melhor produtividade sempre que se demanda menos esforço para se obter um determinado resultado. As definições citadas anteriormente são complementares, pode-se acrescentar que quanto menor o esforço necessário para realizar determinada tarefa, menor será o tempo de execução, resultando na melhoria da produtividade.

Para Souza [6], o estudo da produtividade poderia ser feito analisando perspectivas distintas. Em função do tipo de entrada (recurso) a ser transformada, poder-se-ia ter o estudo da produtividade com pontos de vista: físico, no caso de se estar estudando a produtividade no uso dos materiais, equipamentos ou mão de obra; financeiro, quando a análise recai sobre a quantidade de dinheiro demandada; ou social, quando o esforço da sociedade como um todo é encarado como recurso inicial do processo [6].

Um dos métodos de medição da produtividade da mão de obra é o da Razão Unitária de Produção (RUP), que pode ser calculada pela Equação 1.

$$RUP = \frac{Hh}{QS} \tag{1}$$

Onde Hh e QS são, respectivamente, homens-hora e quantidade de serviço realizado.

O termo “homens-hora” é resultado da multiplicação do número de trabalhadores envolvidos pelo tempo que foi gasto na atividade. A RUP pode ser cumulativa ou potencial. A cumulativa é um acúmulo de todos os dias analisados e a potencial é a menor RUP do período. Quanto maior a RUP, menor a produtividade.

2.2 Caminho Crítico

Como já citado anteriormente, o Guia PMBOK [2] define que o caminho crítico é a sequência de atividades que representa o caminho mais longo de um projeto, que determina a menor duração possível do mesmo. Já para Mattos [4], o caminho crítico é formado pelas atividades críticas e define o prazo da obra. As atividades críticas não têm folga. Desta forma o cronograma da etapa estrutural impacta diretamente no prazo final da obra, Zorzi [7] acrescenta que um atraso na execução da estrutura impede que as atividades sucessoras sejam iniciadas.

Na execução de um projeto, a determinação do caminho crítico e das folgas pode ser feita através da técnica PERT/CPM. A sigla PERT (Program Evaluation and Review Technique) pode ser traduzida como Técnica de Avaliação e Revisão de Programas; e a sigla CPM (Critical Path Method) significa Método do Caminho Crítico. O método CPM, foca na duração do caminho crítico do projeto, enquanto o PERT analisa três possíveis durações (otimista, mais provável e pessimista), os métodos costumam ser utilizados em conjunto. Mattos [4] discorre sobre o assunto.

Os diagramas PERT/CPM permitem que sejam indicadas as relações lógicas de precedência (inter-relacionamento) entre as inúmeras atividades do projeto e que seja determinado o caminho crítico, isto é, a sequência de atividades que, se sofrer atraso em alguma de suas componentes, vai transmiti-lo ao término do projeto. Cálculos numéricos permitem saber as datas mais cedo e mais tarde em que cada atividade pode ser iniciada, assim como a folga de que elas dispõem [4]. A Figura 1 apresenta um exemplo do método do caminho crítico.

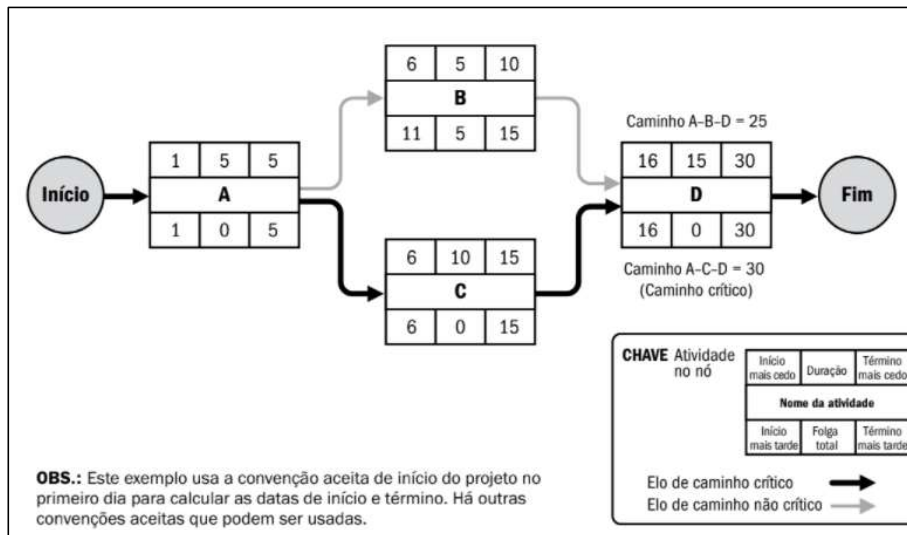


Figura 1 - Exemplo de método do caminho crítico. Fonte: Guia PMBOK [2].

As flechas em negrito indicam o caminho crítico, ou seja, a sequência de atividades que não têm folga entre o início e o fim do cronograma.

2.3 Etapa Estrutural

De acordo com a NBR 14931 (2004) [8], fazem parte da execução da estrutura de concreto todas as atividades desenvolvidas na execução das estruturas de concreto, ou seja, sistema de fôrmas, armaduras, concretagem, cura e outras, bem como as relativas à inspeção e documentação de como construído, incluindo a análise do controle de resistência do concreto.

i. Sistemas de Fôrmas

As fôrmas para concreto armado são um sistema provisório para dar forma e textura ao concreto fresco até que o mesmo adquira resistência para autossustentar-se [9]. Nota-se que a manufatura e o posicionamento das fôrmas também garantirão as dimensões, geometria e níveis para os componentes geométricos de concreto.

O sistema de fôrmas é dividido, segundo Araújo [10], em três classificações: molde é parte que dá forma ao elemento e entra em contato com o concreto; cimbramento é o grupo de elementos que suporta ou transfere as cargas recebidas pelas fôrmas; acessórios são as peças que apoiam as ações das outras partes. De acordo com o mesmo autor, o molde pode ser dividido em painéis estruturados e não estruturados, já o cimbramento é composto pelo vigamento, escoramento, mão-francesa e travamento. Ao analisar o cronograma da obra, nota-se que o sistema de fôrmas tem uma grande importância no avanço do empreendimento, como apresentado por Assahi [11].

As atividades de montagem da fôrma são responsáveis por, aproximadamente, 30% do caminho crítico do cronograma físico, elegendo-se uma das atividades de maior influência no prazo de execução de qualquer empreendimento civil com estrutura em concreto armado ou protendido [11].

O tempo de execução do sistema de fôrmas pode variar de acordo com a quantidade de vezes que os moldes podem ser reaproveitados. As características geométricas dos elementos estruturais e a resistência dos materiais utilizados nas fôrmas ditam esse número de reaproveitamentos.

ii. Armação

O aço empregado na armação das estruturas de concreto armado pode ser fornecido em rolo ou em barras de doze metros. Para Freire [12] armação é o conjunto de procedimentos que preparam e posicionam o aço dentro da estrutura. O autor também explicita que se faz necessária a racionalização do uso do aço tanto sob ótica da produtividade quanto do desperdício de recursos.

Todo o ciclo de trabalho com o aço é mapeado por Barros e Melhado [13] e descrito em sete passos: compra e recebimento do aço; estocagem; corte; dobra; pré-montagem; transporte; montagem. Toda a logística do trabalho com o aço, como a decisão de armar todo o elemento ou apenas pré-montar, deve ser bem planejada para demandar o menor tempo e força de trabalho possíveis. Como forma de aumentar a produtividade, Reis [14] explica que além da maneira artesanal de preparar a armadura, existem no mercado tanto máquinas de corte como máquinas de dobramento automático, o que acelera e otimiza o processo.

iii. Concretagem

A concretagem dos elementos estruturais moldados in loco é composta pelo lançamento do concreto sobre as fôrmas, pela vibração para adensamento do concreto, e pelo nivelamento e acabamento superficial do concreto [15]. A concretagem pode ser realizada com o concreto usinado e lançado, com o concreto usinado e colocado nas fôrmas manualmente e com o concreto moldado in loco e colocado de forma manual.

A etapa de concretagem marca o final do ciclo de execução da estrutura e, apesar de apresentar uma duração mais curta, é preciso que todos os passos anteriores sejam bem executados para resultar em elementos de concreto de excelência [16].

3. METODOLOGIA

3.1 Desenvolvimento

O tema surgiu a partir da necessidade observada pela equipe da construtora que atua na cidade de Curitiba, que será mantida em sigilo por questões éticas, de mapear as produtividades de suas obras, com o objetivo de melhorar o rendimento de seus processos.

Inicialmente foram realizadas visitas ao canteiro e reuniões com o engenheiro geral, o engenheiro responsável pela obra, o estagiário e os encarregados dos setores de armação e carpintaria, a fim de conhecer a obra estudada. A obra foi caracterizada a partir das informações coletadas nas reuniões e do estudo dos projetos arquitetônicos e estruturais.

As informações necessárias para a realização do estudo foram levantadas em campo com ajuda da equipe da obra. Foram realizados encontros entre os autores deste e o estagiário para que houvesse troca de informações e atualizações sobre o progresso da obra. A equipe levantou informações sobre o processo de fôrma e armação das vigas, pilares e lajes, anotando quais elementos foram executados em cada dia e quantos armadores, carpinteiros ou ajudantes foram necessários para tal serviço. Neste estudo não se diferencia a produtividade do profissional (armador/carpinteiro) e do ajudante. Os diários de obra elaborados e fornecidos pela construtora auxiliaram no acompanhamento das tarefas realizadas, como a concretagem de cada ciclo e eventualidades que possivelmente interferiram no cronograma. Nas visitas foram levantados dados qualitativos através da observação do canteiro de obras, da logística dos materiais, do posicionamento dos elementos do canteiro de obra e das medidas de segurança adotadas.

Todas as informações coletadas foram transmitidas para planilhas. A partir da leitura dos projetos foi possível calcular as áreas das fôrmas das vigas, pilares e lajes e o peso de aço por elemento estrutural, então, calculou-se a quantidade de fôrmas e armações executadas por dia. Em seguida, a quantidade diária de colaboradores por atividade foi multiplicada pelo período trabalhado, em horas, gerando o termo homem-hora (H.h). Esse termo foi dividido pela área de fôrmas em m² e pelo peso de aço em kg, gerando a RUP de carpinteiros e armadores, respectivamente. Também foram calculadas as produtividades médias de carpinteiros e armadores de cada pavimento. Os dados obtidos foram analisados por meio de gráficos e tabelas que permitiram a análise e a comparação da produtividade dos pavimentos tipo da edificação.

3.2 Etapas da Estrutura

A Figura 2 retrata algumas etapas pertencentes a fase estrutural de uma obra em concreto armado.



Figura 2 – Etapas da estrutura.

As etapas acima expostas foram analisadas ao longo deste trabalho, a fim de verificar possíveis particularidades da obra que possam estar diminuindo a eficiência dos processos e, desse modo, aumentando o tempo de execução.

A análise do recebimento e armazenamento dos materiais foi importante devido a logística presente na obra, já que cada canteiro tem uma disposição diferente, resultando em maior ou menor facilidade em receber e armazenar os insumos. O recebimento do concreto também depende dessa logística. A armação e a montagem das fôrmas geralmente são feitas simultaneamente e são fundamentais para a qualidade do produto final, merecem ênfase, pois antecedem o posicionamento, escoramento e concretagem dos elementos estruturais.

3.3 Caracterização da Obra

A obra analisada foi executada em concreto armado. O empreendimento possui duas torres com oito pavimentos cada e dois apartamentos por andar, totalizando em 31 unidades, divididas em apartamentos tipo um e dois (áreas de 230 e 226 m², respectivamente), apartamentos jardim (áreas de 475, 534 e 554 m²) e coberturas duplex (áreas de 366 e 368 m²). O edifício apresenta o conceito “Hug House” (casa que abraça) que consiste em ambientes integrados, reduzindo o número de pilares e paredes. A construtora optou por utilizar uma mini grua para cada torre. O estudo abrange apenas a torre um, que é a mais próxima da rua. A Figura 3 apresenta a planta do pavimento tipo da edificação.

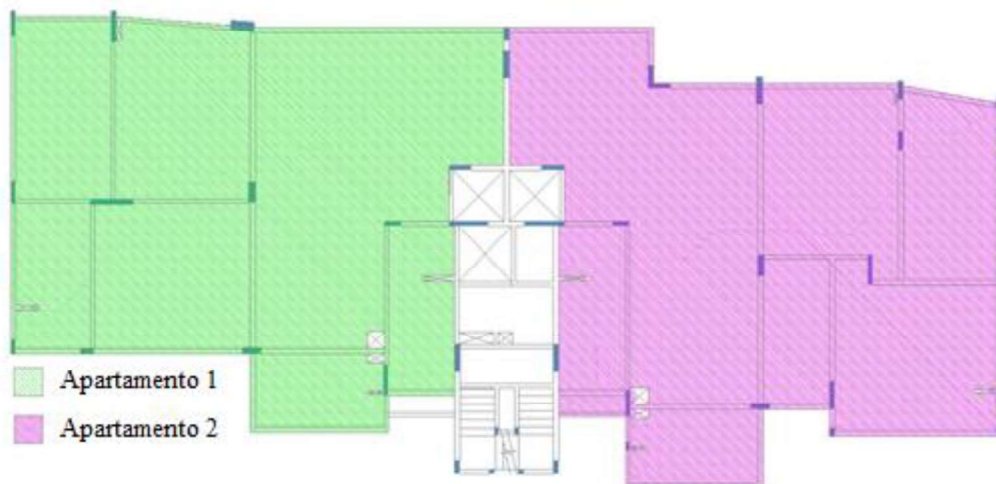


Figura 3 – Pavimento tipo da edificação estudada. Fonte: Construtora mantida em sigilo.

A disposição do canteiro de obra é apresentada na Figura 4.

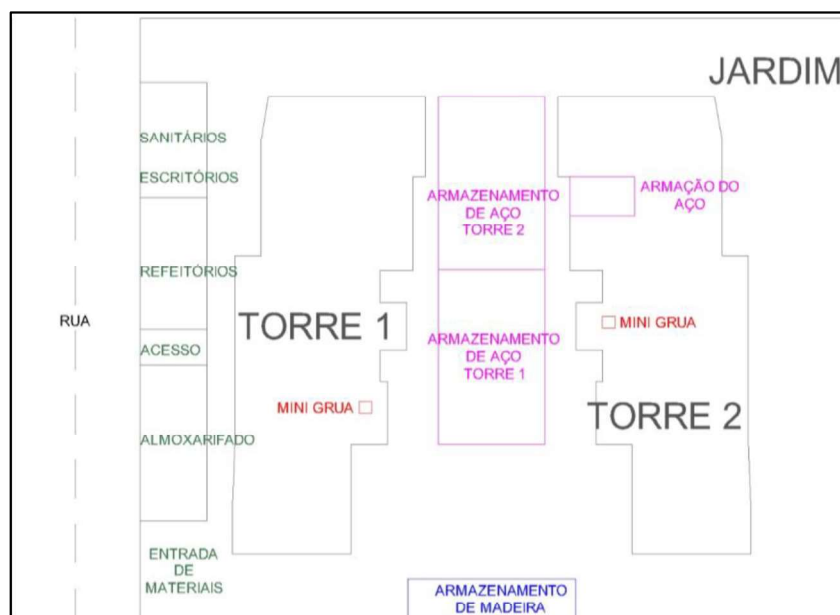


Figura 4 – Croqui do canteiro da obra estudada.

Os materiais eram recebidos na obra pelo portão de entrada, que se localizava próximo à rua. Os painéis compensados resinados e o aço, que já chegavam cortados e dobrados, eram descarregados pelo caminhão Munck próximo ao portão. Os painéis eram carregados manualmente pelos ajudantes e carpinteiros até o local de armazenamento da madeira e,

quando necessário, até a mini grua ou diretamente até a mini grua, dependendo da demanda. Após os painéis serem içados até o terceiro pavimento, a madeira foi cortada e as fôrmas fabricadas, montadas e posteriormente desmontadas. A partir do terceiro pavimento a madeira já cortada era transportada até o próximo pavimento para então ser montada novamente, ajustes eram feitos caso fosse necessário. O aço também era carregado manualmente do portão até o local de armazenamento, que se localizava no centro do canteiro. O material era organizado por torre e por pavimento, para auxiliar no momento da armação, que era feita no térreo da torre dois e, após armados, os elementos eram içados pela mini grua até o local de montagem. Já no pavimento em que estavam sendo montados eram realizados ajustes e amarrações finais nas armações.

4. RESULTADOS

A partir do mapeamento das produtividades dos cinco pavimentos tipo do edifício estudado, obteve-se as datas de início e fim de cada ciclo de concretagem e suas respectivas durações, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Duração dos ciclos.

| PAVIMENTO | DATA INÍCIO ESTRUTURA | DATA CONCRETAGEM | DURAÇÃO DO CICLO (dias) |
|-----------|-----------------------|------------------|-------------------------|
| 3º | 04/05 | 12/05 | 8 |
| 4º | 14/05 | 24/05 | 9 |
| 5º | 25/05 | 04/06 | 8 |
| 6º | 08/06 | 22/06 | 13 |
| 7º | 23/06 | 02/07 | 9 |

A Tabela 2, baseada no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI) [5], demonstra as faixas de variação da RUP para os serviços de fabricação de fôrmas e montagem de armaduras. Quanto menor for o índice obtido, melhor a produtividade.

Tabela 2 - Faixas de variação RUP (SINAPI) [5] para fabricação de fôrma e montagem de armação.

| Item | Unidade | RUP / SINAPI | | |
|-------------|--------------------|--------------|---------|--------|
| | | Mínima | Mediana | Máxima |
| Carpinteiro | H.h/m ² | 0,016 | 0,349 | 1,656 |
| Armador | H.h/kg | 0,0094 | 0,0529 | 0,2245 |

Fonte: Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil [5].

Os resultados das produtividades de carpinteiros e armadores obtidos neste trabalho foram comparados com as faixas de variação de produtividade apresentadas no Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil [5], mostradas na Tabela 2.

O terceiro pavimento é o primeiro tipo do edifício, sua estrutura foi iniciada no dia 04/mai/2021 e a concretagem realizada no dia 12/mai/2021, completando um ciclo de concretagem de oito dias. No dia 06/mai/2021 observou-se a melhor produtividade de fabricação de fôrmas do pavimento, com uma RUP potencial de 0,116 H.h/m², esse índice foi influenciado pelo fato de que a maioria das fôrmas fabricadas nesse dia serem de lajes, tendendo então que a produtividade fosse maior. A produtividade dos carpinteiros e dos armadores do dia 07/mai/2021 não foi considerada pelo fato de que os registros não abrangem todo o trabalho realizado no dia. Os demais dias do ciclo apresentaram produtividades inferiores à RUP mediana, resultando em uma produtividade cumulativa de fabricação de fôrmas do terceiro pavimento de 0,153 H.h/m². A atividade de fôrmas durou cinco dias e foi finalizada no dia 08/mai/2021, por esse motivo os três últimos dias do ciclo apresentaram produtividades zeradas e esses valores não foram considerados no cálculo da produtividade média de fabricação de fôrmas. A produtividade potencial de montagem de armação do terceiro pavimento foi de 0,015 H.h/kg e a cumulativa foi de 0,063 H.h/kg, valores que estão abaixo da RUP mediana, representando boas produtividades. A atividade de armação iniciou no dia 05/mai/2021 e durou 6 dias. No dia 08/mai/2021 a produtividade é zero porque não houve execução de armação, devido a colocação de vigas na laje, esse valor não foi considerado no cálculo da média. A Tabela 3 apresenta um resumo das produtividades calculadas no terceiro pavimento.

Tabela 3 - Resumo de produtividades do terceiro pavimento.

| | 1º dia | 2º dia | 3º dia | 4º dia | 5º dia | 6º dia | 7º dia | 8º dia | RUP média |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| | 04/mai | 05/mai | 06/mai | 07/mai | 08/mai | 10/mai | 11/mai | 12/mai | |
| RUP Carpinteiros (H.h/m ²) | 0,153 | 0,211 | 0,116 | 0,342 | 0,131 | - | - | - | 0,153 |
| RUP Armadores (H.h/kg) | - | 0,015 | 0,018 | 0,155 | - | 0,149 | 0,061 | 0,075 | 0,063 |

■ PIOR RUP DO CICLO
 ■ RUP POTENCIAL
 ■ RUP NÃO CONSIDERADA NO CÁLCULO DA MÉDIA
 ■ RUP MÉDIA

A execução da estrutura do quarto pavimento iniciou no dia 14/mai/2021 e a concretagem foi realizada no dia 24/mai/2021, totalizando um ciclo de concretagem de nove dias. Nos dias 16/mai/2021 e 17/mai/2021 ocorreram as melhores produtividades de fabricação de fôrmas do quarto pavimento, devido a elevada proporção de fôrmas de laje em comparação aos outros elementos estruturais executados nesses dias. No dia 19/mai/2021, na maior parte do tempo trabalhado, foram realizadas atividades referentes a escada, portanto, a produtividade dos carpinteiros desse dia foi desconsiderada da média, por não ser um valor que representa apenas a atividade de montagem de fôrmas de pilares, vigas ou lajes. Os demais dias do ciclo apresentaram produtividades abaixo da RUP mediana, resultando em uma produtividade cumulativa de fabricação de fôrmas do quarto pavimento de 0,148 H.h/m². A produtividade média de montagem de armação do quarto pavimento foi de 0,033 H.h/kg e a RUP potencial foi de 0,017 H.h/kg, ambos os índices estão abaixo da RUP mediana vista na Tabela 2. O dia 21/mai/2021 foi dedicado a preparação para a concretagem, os colaboradores realizaram a limpeza e organização do canteiro para que o pavimento fosse concretado no dia 24/mai/2021. Na Tabela 4 constam os valores diários e as médias das produtividades do quarto pavimento.

Tabela 4 - Resumo de produtividades do quarto pavimento.

| | 1º dia | 2º dia | 3º dia | 4º dia | 5º dia | 6º dia | 7º dia | RUP média |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| | 14/mai | 15/mai | 16/mai | 17/mai | 18/mai | 19/mai | 20/mai | |
| RUP Carpinteiros (H.h/m ²) | 0,194 | 0,163 | 0,057 | 0,125 | 0,203 | 1,367 | - | 0,148 |
| RUP Armadores (H.h/kg) | 0,022 | 0,024 | 0,017 | 0,049 | 0,042 | 0,041 | 0,036 | 0,033 |

■ PIOR RUP DO CICLO
 ■ RUP POTENCIAL
 ■ RUP NÃO CONSIDERADA NO CÁLCULO DA MÉDIA
 ■ RUP MÉDIA

O quinto pavimento foi iniciado no dia 25/mai/2021 e concretado no dia 04/jun/2021, concluindo um ciclo de oito dias. No dia 03/jun/21 não houveram atividades devido ao feriado. Assim como no terceiro pavimento, as fôrmas foram feitas em cinco dias. A RUP potencial da atividade de fôrmas do quinto pavimento foi de 0,135 H.h/m² e a cumulativa totalizou em 0,195 H.h/m², ambos os valores estão abaixo da RUP mediana apresentada na Tabela 2. No dia 27/mai/2021 houve recebimento de aço na obra, parte do efetivo de armadores foi mobilizado para descarregamento e movimentação do material. Os registros da atividade de armação feitos pela equipe da obra no dia 29/mai/2021 não condizem com a totalidade de elementos armados. As produtividades desses dois dias foram desconsideradas da média. A RUP potencial de armadores do quinto pavimento foi de 0,022 H.h/kg e a cumulativa de 0,041 H.h/kg. A Tabela 5 mostra os índices de produtividade calculados para o quinto pavimento.

Tabela 5 - Resumo de produtividades do quinto pavimento.

| | 1º dia | 2º dia | 3º dia | 4º dia | 5º dia | 6º dia | 7º dia | RUP média |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| | 25/mai | 26/mai | 27/mai | 28/mai | 29/mai | 31/mai | 01/jun | |
| RUP Carpinteiros (H.h/m ²) | 0,257 | 0,163 | 0,181 | 0,135 | 0,237 | - | - | 0,195 |
| RUP Armadores (H.h/kg) | 0,022 | 0,031 | 0,295 | 0,063 | 0,345 | 0,040 | 0,050 | 0,041 |

■ PIOR RUP DO CICLO
 ■ RUP POTENCIAL
 ■ RUP NÃO CONSIDERADA NO CÁLCULO DA MÉDIA
 ■ RUP MÉDIA

O sexto pavimento teve sua execução iniciada no dia 08/jun/2021 e foi concretado no dia 22/jun/2021, totalizando em um ciclo de treze dias. O ciclo de concretagem deste pavimento teve um atraso por consequência da concretagem do pavimento anterior, que foi excepcionalmente longa e terminou à noite. No dia 04/jun/2021, dia da concretagem do quinto pavimento, a temperatura estava baixa, impossibilitando a desforma no tempo previsto e, então, atrasando o início do ciclo do sexto pavimento. No dia 12/jun/2021, além da montagem de fôrmas de pilares e vigas, houve a montagem das fôrmas da escada, por este motivo, essa produtividade foi desconsiderada do cálculo da média. A RUP potencial de carpinteiros foi de 0,123 H.h/m² e a cumulativa de 0,159 H.h/m², ambos os valores estão abaixo da RUP mediana apresentada na Tabela 2. No dia 16/jun/2021, além da atividade de armação, foram feitas armações de reforço, por esse motivo a produtividade foi de 0,228 H.h/kg e foi desconsiderada da média. Em relação à armação, a RUP potencial foi de 0,037 H.h/kg e a cumulativa de 0,056 H.h/kg. Na Tabela 6 pode-se observar os dados referentes às produtividades do sexto pavimento.

Tabela 6 – Resumo de produtividades do sexto pavimento.

| | 1º dia | 2º dia | 3º dia | 4º dia | 5º dia | 6º dia | 7º dia | 8º dia | 9º dia | 10º dia | RUP média |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------------|
| | 08/jun | 09/jun | 10/jun | 11/jun | 12/jun | 14/jun | 15/jun | 16/jun | 17/jun | 18/jun | |
| RUP Carpinteiros (H.h/m ²) | 0,133 | 0,179 | 0,203 | 0,123 | 0,300 | - | - | - | - | - | 0,159 |
| RUP Armadores (H.h/kg) | - | - | 0,037 | 0,075 | - | 0,043 | 0,062 | 0,228 | 0,044 | 0,072 | 0,056 |

■ PIOR RUP DO CICLO
 ■ RUP POTENCIAL
 ■ RUP NÃO CONSIDERADA NO CÁLCULO DA MÉDIA
 ■ RUP MÉDIA

As atividades referentes ao sétimo pavimento foram iniciadas no dia 23/jun/21 e o pavimento foi concretado no dia 02/jul/2021. O ciclo concluiu-se em oito dias. As fôrmas foram finalizadas em quatro dias e as armações em seis dias. O serviço de fôrmas teve uma RUP potencial de 0,107 H.h/m² e uma RUP cumulativa de 0,203 H.h/m², resultando em uma boa produtividade para a atividade. Já os armadores tiveram uma RUP potencial de 0,016 H.h/kg e uma RUP cumulativa de 0,051 H.h/kg, valores abaixo da mediana no quesito produtividade. A Tabela 7 apresenta os valores das produtividades do sétimo pavimento.

Tabela 7 – Resumo de produtividades do sétimo pavimento.

| | 1º dia | 2º dia | 3º dia | 4º dia | 5º dia | 6º dia | 7º dia | 8º dia | RUP média |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| | 23/jun | 24/jun | 25/jun | 26/jun | 28/jun | 29/jun | 30/jun | 01/jul | |
| RUP Carpinteiros (H.h/m ²) | 0,253 | 0,261 | 0,107 | - | 0,191 | - | - | - | 0,203 |
| RUP Armadores (H.h/kg) | - | - | 0,034 | 0,016 | 0,041 | 0,064 | 0,071 | 0,081 | 0,051 |

■ PIOR RUP DO CICLO
 ■ RUP POTENCIAL
 ■ RUP NÃO CONSIDERADA NO CÁLCULO DA MÉDIA
 ■ RUP MÉDIA

Nos diários de obra não foram observados eventos que pudessem interferir no andamento do cronograma, como por exemplo acidentes, chuvas, equipamentos quebrados ou outras intercorrências. As fôrmas foram executadas em madeirite resinado, que pôde ser reutilizado em todos os cinco pavimentos tipo do edifício. O aço chegava na obra já cortado e dobrado, portanto, os índices obtidos são referentes apenas a montagem da armação. Para Durães [17] o método industrial de corte e dobra de aço é mais vantajoso por vários motivos, incluindo a melhoria da produtividade.

No decorrer das visitas à obra, pode-se perceber que o canteiro era organizado, fato que contribuiu para que a produtividade fosse aumentada. Costa [18] afirma que a organização faz com que o rendimento dos funcionários aumente por se sentirem mais motivados e também por se esforçarem menos durante o transporte dos materiais.

A Figura 5 mostra um gráfico com as produtividades obtidas pelos carpinteiros em cada um dos cinco pavimentos analisados, estão no gráfico inclusive os valores que foram desconsiderados da média, por serem dias em que os carpinteiros realizaram atividades referentes as escadas ou pelos registros não abrangerem todo o trabalho feito no dia. A produção de fôrmas do quarto pavimento durou seis dias, do sétimo pavimento durou quatro dias e nos demais pavimentos teve uma duração de cinco. No sexto dia do quarto pavimento, como já citado anteriormente, na maior parte do tempo trabalhado foram realizadas atividades referentes a escada, portanto, a produtividade dos carpinteiros desse dia foi desconsiderada da média, por não ser um valor que representa apenas a atividade de montagem de fôrmas de pilares, vigas ou lajes.

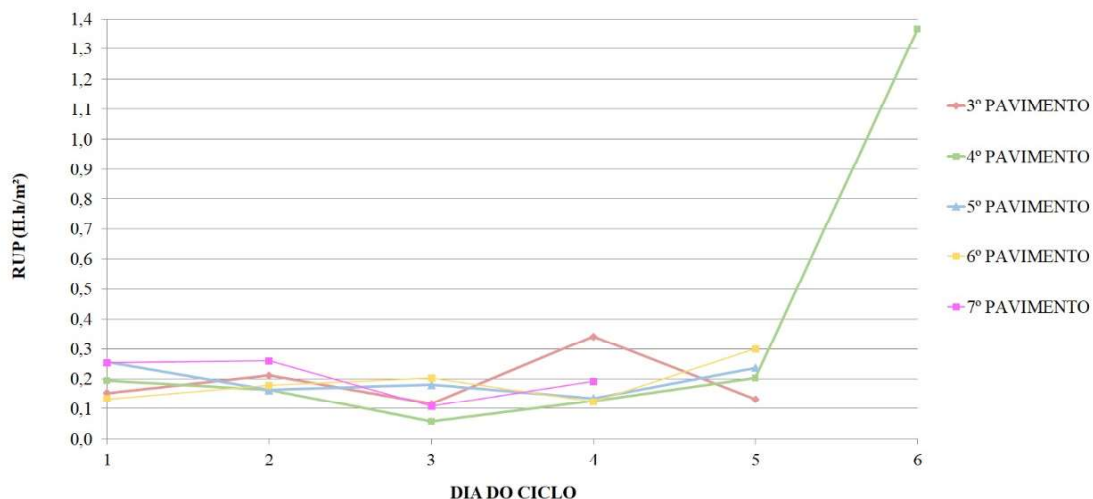


Figura 5 – Gráfico das produtividades dos carpinteiros.

A Figura 6 apresenta um gráfico contendo apenas os valores das produtividades dos carpinteiros que foram considerados na média. O pior valor observado no gráfico foi de 0,261 H.h/m² e o melhor de 0,057 H.h/m², observados no sétimo e quarto pavimentos, respectivamente. Ambos os valores estão entre as RUPs mínima e mediana vistas na Tabela 2. Nota-se uma grande variação na produtividade dos trabalhadores, mesmo se tratando de pavimentos tipo e da não ocorrência

de nenhum evento crítico, o qual seria mencionado nos diários de obra. A produtividade depende de vários fatores, um deles é o tempo, que pode ser gasto com atividades que não agregam valor ao produto, por exemplo, receber instruções, reforma de fôrmas, marcação de linha de nível, transporte de materiais, entre outros. Pode-se pressupor que essa variação na produtividade tenha sido motivada pela condição de uso em que as fôrmas reutilizadas se encontram após a desforma. A produtividade também pode ter variado de acordo com a proporção entre os tipos de elemento estrutural executados no dia.

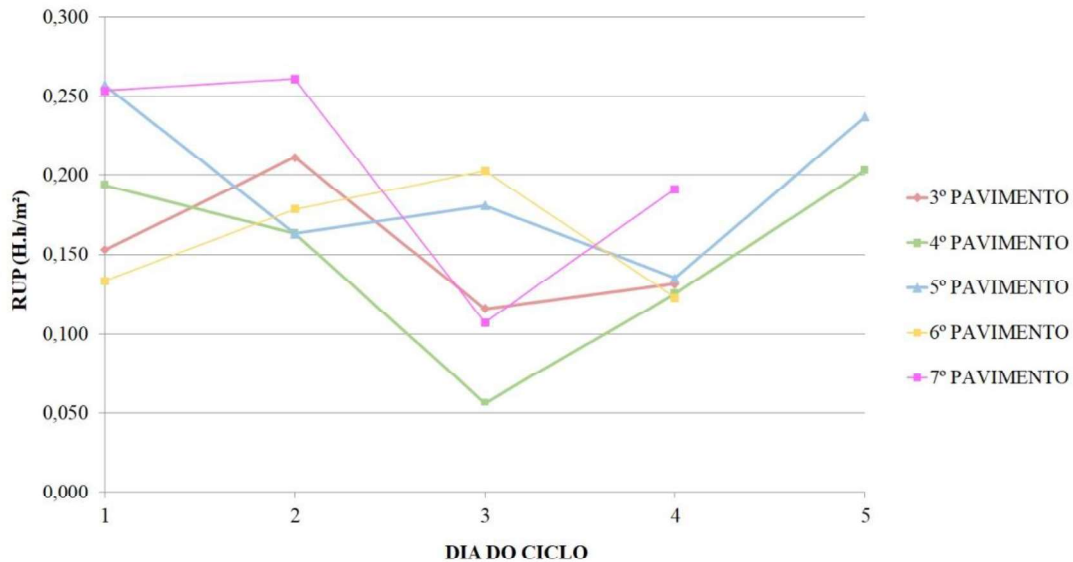


Figura 6 – Gráfico das produtividades consideradas dos carpinteiros.

A Figura 7 apresenta as produtividades referentes aos armadores nos cinco pavimentos em estudo. O gráfico abrange todas as produtividades calculadas, inclusive as que não fazem parte do cálculo da média, por se referirem a dias em que houve recebimento de aço (terceiro dia do quinto pavimento), dias em que foram feitas armações de reforço (quarto dia do sexto pavimento) ou ainda dias em que os registros não condizem com a totalidade de elementos armados (quinto dia do quinto pavimento).

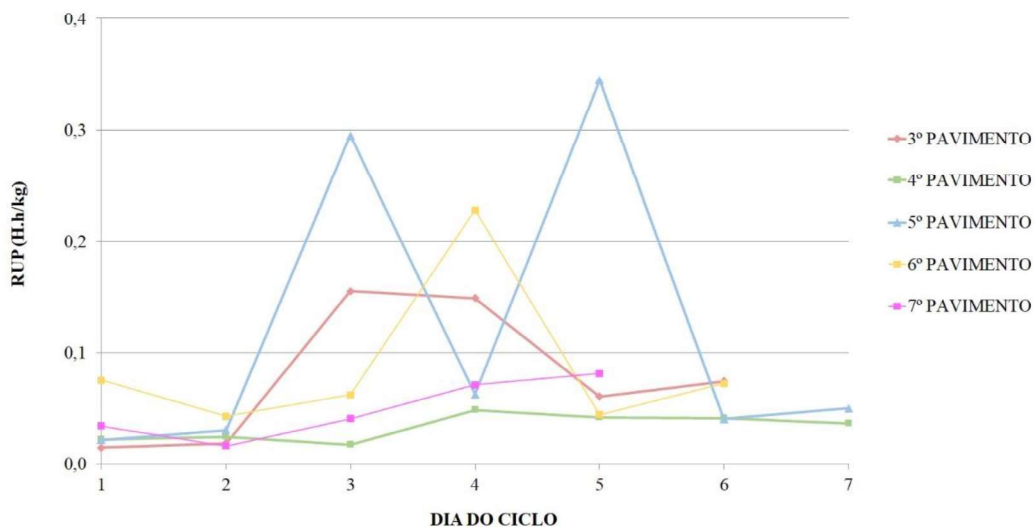


Figura 7 - Gráfico das produtividades dos armadores.

Na Figura 8, pode-se observar que a pior produtividade considerada de armadores foi de 0,149 H.h/kg, valor que está abaixo do máximo visto na Tabela 2. A melhor produtividade no quesito armação foi de 0,015 H.h/kg. Ambas as produtividades aconteceram na execução do terceiro pavimento.

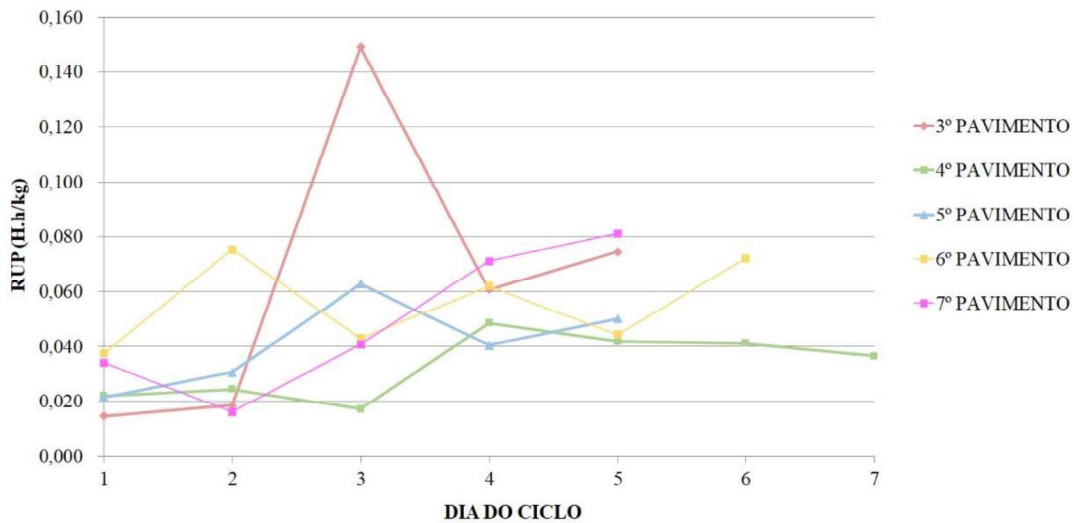


Figura 8 - Gráfico das produtividades consideradas dos armadores.

Por fim, a Figura 9 apresenta um gráfico que contém as médias das produtividades de carpinteiros e armadores em cada pavimento. Ao inserir uma linha de tendência linear no gráfico de produtividade média dos carpinteiros, pode-se observar que o coeficiente angular é positivo, resultando em uma reta crescente, indicando que a produtividade piorou ao longo da execução dos pavimentos. Presume-se que essa piora da produtividade tenha como um dos fatores a necessidade de reparo ou substituição das formas, à medida que o material degrada a cada desforma. A linha de tendência inserida no gráfico da produtividade média dos armadores mostra um coeficiente angular muito próximo de zero, resultando em uma linha quase horizontal.

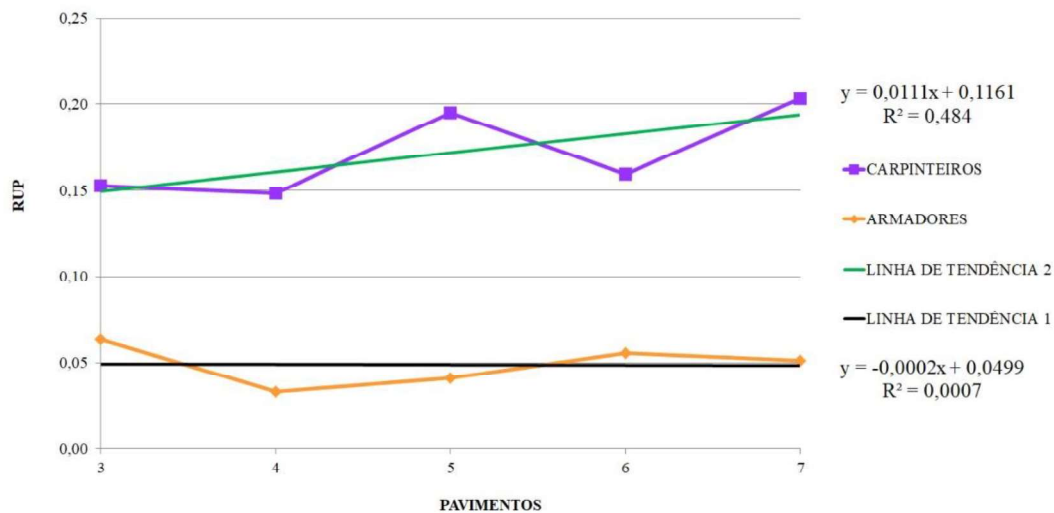


Figura 9 - Gráfico das produtividades cumulativas de carpinteiros e armadores.

O quarto pavimento é o que apresenta as melhores médias em produtividade de carpinteiros e armadores, com valores de 0,148 H.h/m² e 0,033 H.h/kg, respectivamente.

Segundo o Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil [5] a RUP cumulativa é uma média das produtividades obtidas. Na obra em questão, a RUP cumulativa dos carpinteiros é de 0,172 H.h/m² e dos armadores é de 0,049 H.h/kg. Esses valores podem ser usados como base para a execução do orçamento de obras futuras. A RUP

potencial, segundo a mesma fonte, é aquela que deve ser usada como meta, visto que esse índice é passível de ser alcançado. A RUP potencial dos carpinteiros é de 0,057 H.h/m² e dos armadores é de 0,015 H.h/kg.

Analisando as produtividades calculadas com base na obra estudada, 96% das vezes a produtividade dos carpinteiros está entre a faixa de variação mínima e mediana do SINAPI [5], sendo os outros 4% índices que estão abaixo da RUP máxima apresentada pelo Sistema. Quanto ao serviço de armação, 58% das produtividades dos armadores estão entre a RUP mínima e mediana, 33% dos indicadores estão acima da mediana, porém abaixo da máxima e os outros 9% referem-se a razões unitárias de produção que estão acima da máxima que consta no SINAPI [5].

5. CONCLUSÕES

Em consideração ao conteúdo apresentado no presente trabalho, os objetivos anteriormente estipulados foram alcançados, à medida que os índices de produtividade foram calculados para a edificação objeto de estudo e comparados com base no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI) [5]. Os índices obtidos foram relacionados com os eventos que ocorreram nos respectivos dias, alguns dos valores que foram desconsiderados das médias, se devem à inconsistências constatadas nos diários de obra repassados pela Construtora. As inconsistências foram percebidas ao confrontar as informações dos diários com os fatos relatados pela equipe de obra durante as reuniões, como por exemplo, a duração atípica da concretagem do quinto pavimento, que não consta no diário de obra. Nessas circunstâncias, surgiram dificuldades na interpretação de alguns fatos que ocorreram durante a obra e, conseqüentemente, interferiram no desenvolvimento do presente trabalho.

É possível relatar que nos dias em que a proporção de lajes em relação aos pilares e vigas é grande, observa-se que a execução de fôrmas tende a ter uma produtividade boa, por apresentar menos recortes do que os outros elementos. O contrário é percebido na execução das armações, que tem uma menor produtividade na montagem da armação das lajes já que, normalmente, são compostas por bitolas de aço menores que, apesar de exigirem o mesmo esforço de armação, são mais leves do que as bitolas de aço maiores, deste modo a relação H.h/kg tende a ser maior, resultando em uma pior produtividade.

Ao interpretar os gráficos, nota-se que o coeficiente angular visto na linha de tendência 2 da Figura 9 é positivo e mostra que a produtividade dos carpinteiros diminuiu ao longo da execução dos pavimentos. Já o coeficiente angular da linha de tendência dos armadores é muito próximo de zero, indicando regularidade na produtividade. Percebe-se que a equipe de armadores conseguiu manter o padrão de produtividade ao longo da execução dos pavimentos. De modo geral, os índices de produtividade dos armadores e carpinteiros mostram um desempenho satisfatório e que está dentro dos parâmetros do SINAPI [5].

O mapeamento do ciclo de concretagem mostrou a efetividade real das equipes e alertou para possíveis falhas na gestão do cronograma. Sugere-se a implementação de novas metodologias gerenciais para o aperfeiçoamento do registro diário de atividades e ocorrências da obra para uma melhor investigação dos problemas e posterior solução.

O estudo pode auxiliar os profissionais responsáveis na tomada de decisões em futuras obras de características e porte semelhantes, para que, com novas ferramentas de gestão, possam aperfeiçoar o sistema de documentação diária, a fim de identificar erros e prevenir que esses comprometam o cronograma da obra.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a construtora fornecedora dos dados e a Universidade Positivo pela estrutura cedida a pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Construção civil é a locomotiva do crescimento, com emprego e renda. 2020.** Disponível em: <https://cbic.org.br/construcao-civil-e-a-locomotiva-do-crescimento-com-emprego-e-renda/>. Acesso em: 3 mai. 2021.

[2] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Guia PMBOK: Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos.** 6. ed. Pensilvânia: PMI. 2017.

- [3] TISAKA, M. **Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução**. 1. ed. São Paulo: Pini. 2006.
- [4] MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. 1. Ed. São Paulo: Pini. 2010.
- [5] CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil SINAPI**. Brasília, v. 1. 2017.
- [6] SOUZA, U. E. L. de. **Como medir a produtividade da mão-de-obra na construção civil**. Bahia, v. 1. 2000.
- [7] ZORZI, A. C. **Forma com molde em madeira para estruturas de concreto armado: recomendações para melhoria da qualidade e produtividade com redução de custos**. São Paulo. 2002.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro. 2004.
- [9] PERES, P. de O. **Um estudo comparativo sobre os sistemas de fôrmas: mesa voadora x convencional**. Rio de Janeiro. 2013.
- [10] ARAÚJO, L. O. C. de; FREIRE, T. M. **Tecnologia e Gestão de Sistemas Construtivos de Edifícios: Apostila da Disciplina Tecnologia de Produção de Edificações em Concreto Armado**. São Carlos. 2004.
- [11] ASSAHI, P. N. **Sistema de fôrma para estrutura de concreto**. São Paulo. 2005.
- [12] FREIRE, T. M. **Produção de estruturas de concreto armado, moldadas in loco, para edificações: caracterização das principais tecnologias e formas de gestão adotadas em São Paulo**. São Paulo. 2001.
- [13] BARROS, M. M. S. B. de; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo. 1998.
- [14] REIS, R. H. de. F. **Análise comparativa de custos e exigências de mão de obra entre as técnicas construtivas de concreto armado e alvenaria estrutural em um empreendimento do programa Minha Casa Minha Vida**. Ouro Preto. 2018.
- [15] CAUMO, L. B. **Execução de lajes moldadas in loco: um sistema de controle de qualidade para a redução de perdas**. Porto Alegre. 2014.
- [16] FACHINI, A. C. **Subsídios para a programação de estruturas de concreto armado no nível operacional**. São Paulo. 2005.
- [17] DURÃES, K. F.; DURÃES, L. F.; SILVA, F. A. O. **Utilização do aço cortado e dobrado na construção civil**. Belo Horizonte. 2017.
- [18] COSTA, A. C.; GIESTA, J. P.; MORAIS, K. S. da; NASCIMENTO, T. C. **Estudo do layout de canteiros de obras: a importância de uma organização adequada**. Natal. 2020.

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO

PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DE CANTEIRO DE OBRAS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA PÚBLICA NO MUNICÍPIO DE GOIANÉSIA DO PARÁ

COSTA, Taiane¹; ARAÚJO, Alyne²; SOUZA, Grazielle³ BORILLE, Sueda⁴

¹ Universidade Federal do Pará, Goianésia do Pará, Brasil, taiane.costa@tucurui.ufpa.br, <https://orcid.org/0000-0001-5255-0205>

² Universidade Federal do Pará, Goianésia do Pará, Brasil, alyne.araujo@tucurui.ufpa.br, <https://orcid.org/0000-0003-3604-3646>

³ Universidade Federal do Pará, Tucuruí, Brasil, grazielle.tigre@tucurui.ufpa.br, <https://orcid.org/0000-0002-1851-6051>

⁴ Universidade Federal do Pará, Goianésia do Pará, Brasil, sueda.borille@tucurui.ufpa.br, <https://orcid.org/0000-0003-1214-7299>

RESUMO

O planejamento do layout e logística de um canteiro de obras é um fator determinante para o bom funcionamento de qualquer construção. Com isso, este estudo teve como objetivo realizar uma análise referente ao planejamento e gestão do layout de um canteiro de obras localizado no município de Goianésia do Pará. Para o desenvolvimento da pesquisa partiu-se da revisão de literatura do assunto, em segunda foi realizada uma visita in loco, posteriormente, para fins de coleta de dados, foram executado o desenvolvimento e a aplicação da Lista de Verificação com a intenção de avaliar o layout e as características do canteiro de obras, destacando os principais aspectos do espaço. Os resultados demonstraram que 73,8% dos itens analisados não existem ou não são aplicados no canteiro. Também se observou que as instalações provisórias, os requisitos de segurança e as condições de armazenagem de materiais encontravam-se irregulares e inadequados quando comparados às normas vigentes. Dessa forma, constatou-se que o planejamento e gerenciamento do canteiro de obras estudado necessita de melhorias, além de adequação e cumprimento dos critérios estabelecidos pelas normas técnicas.

Palavras-chave: canteiro de obras; obras públicas; planejamento.

ABSTRACT

Planning the layout and logistics of a construction site is a determining factor for the proper functioning of any construction. Thus, this study aimed to analyze the main characteristics and production processes of a construction site located in the municipality of Goianésia of Pará. For the development of the research, we started with the literature review on the subject, secondly, an on-site visit was carried out, later, for the purposes of data collection, the development and application of the Checklist was carried out, with the intention of evaluating the layout and characteristics of the construction site, highlighting the main aspects of the space. The results showed that 73.8% of the items analyzed do not exist or are not applied at the construction site, it was also observed that the provisional facilities, safety requirements and material storage conditions were irregular and inadequate when compared to current standards. Thus, it was found that the planning and management of the construction site needs improvements, in addition to adequacy and compliance with the criteria established by the technical standards.

Keywords: construction site; public works; planning.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, principalmente no que se refere ao subsetor de edificações, destaca-se pelos elevados índices de perdas de materiais, atrasos no cronograma devido à baixa produtividade durante a execução dos serviços, demonstrando, então, o quanto o planejamento e gerenciamento de canteiro de obras corriqueiramente são negligenciados pelos profissionais que atuam nessas funções. Entretanto, o setor da construção civil tem importância indubitável para a economia e o desenvolvimento do país, considerando sua influência direta na geração de empregos.

Nesse sentido, Lisboa e Castro [1] afirmam que, com o crescente desenvolvimento dos setores na construção civil, surgiram também as dúvidas e, conseqüentemente, a desorganização operacional nos canteiros de obras, causado por falta de planejamento operacional e controle de processos destes. De acordo com Assis e Barbosa [2] no Brasil, os canteiros de obras são desenvolvidos de forma variada em concordância com a estrutura que a construtora responsável pelo empreendimento possui. Entretanto, no geral os canteiros são ambientes estreitos e desorganizados. Tornando o bom funcionamento logístico dos canteiros limitado à escassez de espaço e às pressas na realização das atividades.

O correto planejamento de canteiro de obras busca atender a múltiplos objetivos. A minimização da distância entre objetos, por exemplo, pode não somente aumentar a segurança no local, mas também atingir o objetivo de elevar a produtividade. Assim, os objetivos a serem alcançados precisam ser definidos em termos de prioridade Andayesh e Sadeghpour [3], Sadeghpour e Andayesh [4]. Além disso, Lima et al [5] destacam que, com um melhor planejamento, é possível diminuir os gastos com o investimento, otimizando o período das operações, propiciando agilidade para o desenvolvimento das atividades, visando a reorganização dos processos, otimizar as estratégias produtivas e racionalizar as atividades.

Diante da importância que o planejamento de canteiro de obras possui, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise referente ao planejamento do layout em um canteiro de obras localizado no município de Goianésia do Pará, situado no sudeste do estado do Pará. Procurou-se fazer uma análise das instalações existentes e verificar os fatores influentes no bom andamento das atividades no canteiro. Para isso, utilizou-se do método de diagnóstico proposto por Saurin e Formoso [6], também utilizado nos estudos de Amorim [7].

2. MÉTODOS DE PESQUISA

2.1 Estratégia e classificação da pesquisa

O presente estudo se caracteriza quanto aos seus procedimentos técnicos como um Estudo de Caso, segundo Yin [8] os estudos de caso procuram descrever e analisar de modo mais aprofundado e exaustivo o possível determinado fenômeno.

Caracteriza-se ainda como uma Pesquisa Exploratória, pois, conforme afirma Gil [9], as pesquisas exploratórias são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar uma visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato.

O canteiro em estudo foi analisado de forma semelhante ao estudo feito por Amorim [7], obedecendo às seguintes etapas:

- Preenchimento da lista de verificação;
- Desenho de croquis do layout do canteiro;
- Registro fotográfico;
- Análise do canteiro e principais problemas encontrados.

2.2 Delineamento da pesquisa

Para o desenvolvimento do estudo realizou-se levantamento bibliográfico, para isso, utilizou-se de artigos científicos, monografias bem como dados técnicos, considerando o tema em questão. A próxima etapa foi o levantamento dos dados, que se deu por meio da visita in loco, em que foi possível realizar observações e análise das características do canteiro estudado, com o objetivo de entender melhor o fluxo de materiais e pessoas no local. Por fim, foi feita a aplicação e o preenchimento da lista de verificação. Com os dados coletados, foi possível realizar as análises. Para isso, foi feito o layout do canteiro. A Figura 1 ilustra o processo de desenvolvimento da pesquisa.



Figura 1 - Etapas da pesquisa

2.3 Tratamento de dados

O tratamento dos dados foi realizado de acordo com as análises qualitativas dos conteúdos obtidos na visita in loco, foi possível elaborar o desenho do croqui do canteiro, preencher a lista de verificação, bem como realizar o levantamento fotográfico da área. Para a elaboração do Layout do canteiro utilizou-se o software de modelagem Revit na versão 2020.

A lista de verificação levou em consideração três aspectos: Instalações provisórias, Segurança no trabalho e Sistema de armazenamento e movimentação de materiais. O preenchimento se deu de forma qualitativa, por meio de análises visuais coletadas durante as observações feitas nas visitas e por meio de consultas aos profissionais a respeito do fluxo de trabalho no ambiente estudado. Assim como no estudo de Amorim [7], o intuito da análise objetivou verificar a necessidade dos espaços e a existência deles no canteiro, assim como verificar sua localização e atribuir nota para os espaços existentes.

2.4 Estudo de caso

O canteiro analisado está localizado no município de Goianésia do Pará, localizado a uma latitude 03°50'33" sul e a uma longitude 49°05'49" a oeste, situado no sudeste do Pará, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) [10]. O município possui uma população estimada em 2020 de 41.081 mil habitantes com área territorial de 7.023,941 Km². A obra analisada trata-se de uma obra pública para a execução da construção da arquibancada, reforma e iluminação do estádio municipal de Goianésia do Pará.

Trata-se de um empreendimento de elevada necessidade para a população, considerando a escassez dos espaços de lazer destinados aos visitantes durante a ocorrência de eventos no estádio municipal. O valor do investimento público é de R\$ 398.635,88 e o prazo de execução da obra foi estimado em seis meses, destacando que o empreendimento foi iniciado no ano de 2019. A única visita ao canteiro de obra foi realizada no dia 05 de abril de 2022, não foi informada a nova previsão de término da obra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No momento do estudo, a obra estava em fase de construção, a etapa de estrutura das arquibancadas já havia sido finalizada, sendo que no momento da visita a parte da construção do muro estava sendo executada. Observa-se na Figura 2 o desenho do Layout de parte do canteiro de obras em estudo.

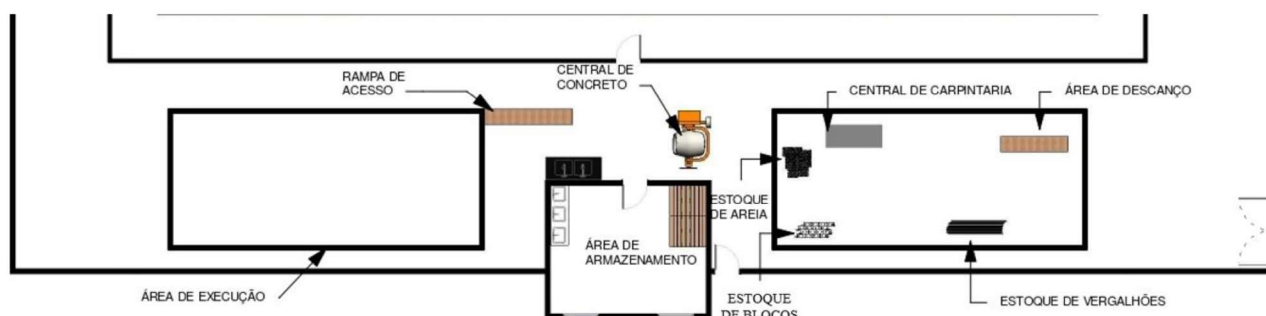


Figura 2 - Desenho do Layout do canteiro de Obras

Com base na visita realizada, constatou-se que o canteiro de obras analisado apresentou diversas negligências no que se refere ao planejamento do layout e logística de suas instalações, sendo insuficiente o gerenciamento das atividades realizadas no espaço. No geral, as estruturas são precárias e aproveitam a própria projeção do empreendimento como mostra a Figura 3, onde pode ser observada a central de corte e dobra do canteiro.



Figura 3 - Central de corte de aço

Não há tapume para evitar o acesso de pessoas ao ambiente e as rampas de acesso são instáveis e irregulares como pode ser observado na Figura 4. Além disso a desordem e a falta de higiene são características predominante do local. Conseqüentemente, vários problemas podem desenvolver-se devido aos aspectos citados anteriormente, sendo exemplos: atraso do cronograma previsto, redução da qualidade dos elementos produzidos, desperdício de materiais, ocorrência de acidentes de trabalho e agravamento da saúde do trabalhador.



Figura 4 - Rampa de acesso

A armazenagem inadequada dos materiais durante a execução das atividades também é característica predominante do canteiro em análise. Os materiais utilizados encontram-se desorganizados e armazenados em ambientes inapropriados, consequentemente, são expostos às intempéries predominantes do local, reduzindo assim suas características intrínsecas, conforme mostra a Figura 5.



Figura 5 - Fábrica de concreto e parte do canteiro de obra

A Figura 6 apresenta o depósito irregular, considerando que vários tipos de materiais, equipamentos e diversos objetos encontravam-se presentes no local. Apesar de os sacos de cimento estarem estocados em local seco e fechado se encontravam em contato com o piso, em desacordo com a NBR 12655:2015 [11], a qual especifica que o material deve ser apoiado em estrado ou palete de madeira. O aço também estava estocado de forma inadequada, comprometendo suas propriedades. A limpeza do espaço é outro fator que é insuficiente, e não obedece aos “5 sensos”. De acordo com Anjos [12] o Programa 5's é uma ferramenta que tem o objetivo de organizar e manter organizado o ambiente de trabalho, e considera características primordiais para o bom funcionamento dos elementos que compõem o canteiro de obras.



Figura 6 - Depósito de materiais

A escassez das áreas de vivência é outro problema encontrado no espaço em que se localiza o canteiro de obras; não há estruturas montadas para atender as necessidades básicas dos trabalhadores. O bebedouro utilizado pelos colaboradores encontra-se em condições insalubres, não atendendo aos critérios de higiene necessários estabelecidos para a saúde humana, como mostra a Figura 7. Os banheiros disponíveis encontram-se distantes das áreas de operação da obra, dificultando o acesso dos trabalhadores aos sanitários.



Figura 7 - Bebedouro utilizado pelos funcionários do canteiro de obras

A falta de segurança é outra característica preocupante, destacando que não há nenhum programa de controle e prevenção de acidentes no espaço, considerando que, no momento da visita, encontravam-se no local quinze trabalhadores sem porte de equipamentos de proteção individual - EPI's ou equipamentos de proteção coletiva – EPC's, estando sujeitos à diversos tipos de riscos. Por se tratar da construção de arquibancadas, os trabalhadores precisam desenvolver certas atividades em alturas e submetem-se aos perigos que isso representa, como mostra a Figura 8. O que torna o risco mais preocupante é a falta de equipamentos específicos e dos critérios descritos pelas normas regulamentadoras que determinam as diretrizes que precisam ser respeitadas para a operação dessas atividades. Além disso, não há nenhum tipo de sinalização no ambiente, os condutores de eletricidade apresentam-se de forma irregular, além de que, os resíduos são depositados em locais inadequados.



Figura 8 - Trabalhador em altura sem uso de EPI's

3.1 Aplicação da Lista de Verificação

O Quadro 1 apresenta parte da lista de verificação do canteiro de obras analisado. De acordo com a lista de verificação, dos 43 itens do aspecto instalações provisórias, apenas 11, representando 25,5% do total foram assinalados com “SIM”, enquanto 74,5% dos elementos analisados “NÃO” existem no canteiro de obras.



Quadro 1- Lista de verificação do canteiro de obra quanto ao aspecto instalações provisórias

| A) INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| A.1) TIPOLOGIA DAS INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS | | |
| São utilizadas instalações móveis (containers)? () sim (x) não | | |
| Se a resposta for sim passe para o item A2 | | |
| A1.1) Há modulações em barracos | | x |
| A2) TAPUMES | | x |
| A3) ACESSOS | x | |
| A3.1) Existe portão exclusivo para acesso os clientes e visitantes | x | |
| A3.2) Existe um caminho pavimentado para acesso de veículos e pessoas | | x |
| A3.3) Há possibilidade de entrar caminhões no canteiro | | x |
| A4) ESCRITORIO | | |
| A4.2) A documentação técnica da obra é de fácil acesso | | x |
| A4.3) Tem materiais de primeiro socorro | | x |
| A5) ALMOXARIFADO | | |
| A5.1) Está perto do ponto de descarga dos caminhões | x | |
| A5.2) Existe etiqueta com nome dos materiais | | x |
| A5.3) E dividido em dois ambientes, um para materiais e ferramentas e outro para o almoxarife | | x |
| A5.4) Existem planilhas com controle de estoque e materiais | | x |
| A.6) LOCAL PARA REFEIÇÕES () existe (x) não existe | | |
| A6.1) Há lavatório instalado em suas proximidades ou no seu interior (NR-18) | | x |
| A6.2) Tem fechamento que permite o isolamento durante as refeições (NR-18) | | x |
| A6.3) Tem piso de concreto, cimentado ou material lavável (NR- 18) | | x |
| A6.4) Tem depósito com tampa para detritos (NR-18) | | x |
| A6.5) Há acentos em número suficiente para atender aos usuários (NR-18) | | x |
| A6.6) As mesas estão separadas para que os funcionários se agrupem conforme sua vontade | | x |
| A7) VESTIARIO () existe (x) não existe | | |
| A7.1) Tem piso de concreto | | x |
| A7.2) Tem banco e cabide que não sejam pregos | | x |
| A7.3) Tem armário individuais com fechadura e dispositivo para cadeado (NR-18) | | x |
| A8) INSTALAÇÕES SANITARIAS (x) existe () não existe | | |
| Obs: os banheiros pertencem ao local, não foram instalados para a obra. | | |
| A8.1) Os banheiros estão próximos dos dormitórios | | x |
| A8.2) O mictório e o lavatório são passíveis de reaproveitamento | | x |
| A8.3) Há banheiros volantes próximo aos locais de trabalho (NR- 18) | | x |
| A8.4) Há papel higiênico e recipientes para depósito de papéis usados no banheiro | x | |
| A8.5) Nos locais onde estão os chuveiros há piso de material antiderrapante ou estrado de madeira | x | |
| A8.6) Há suporte para sabonete e cabide para toalha correspondente a cada chuveiro | | x |
| A8.7) Há um banheiro somente para o pessoal de administração da obra (mestre, engenheiro, técnico) | | x |
| A8.8) Para deslocar-se do posto de trabalho até as instalações sanitárias é necessário percorrer menos de 150,0 metros (NR-18) | x | |
| A8.9) As paredes internas dos locais onde estão instalados os chuveiros, são de alvenaria ou revestidas com chapas galvanizadas ou outro material impermeável | x | |
| A9) AREAS DE LAZER () existe (x) não existe | | |
| A9.1) O refeitório ou outro local é aproveitado como área de lazer, possuindo televisão ou jogos | | x |
| A10) LAVANDERIA () existe (x) não existe | | |
| A10.1) A lavanderia possui tanques individuais ou coletivos | | x |

Sobre o aspecto segurança no trabalho, o Quadro 2 apresenta os 17 itens que foram listados no canteiro de obra, dos quais 5, equivalente a 29,4% do total foram “SIM”. No entanto, 70,6% dos itens analisados “NÃO” são aplicados ou não existem no canteiro.

Quadro 2- Lista de verificação do canteiro de obra quanto ao aspecto segurança no trabalho

| B) SEGURANÇA NA OBRA (FORMA GERAL) | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| B1) ESCADAS | | |
| B1.1) Há corrimão provisório construído de madeira ou de outro material de resistência equivalente | | x |
| B1.2) Há escada ou rampa provisória para transposição de pisos com desnível superior à 40cm (NR-18) | x | |
| B1.3) Os corrimãos são pintados e estão em bom estado de conservação | | x |
| B.2) ESCADAS DE MÃO | | |
| B2.1) As escadas de mão ultrapassam em cerca de 1,0 m o piso superior | x | |
| B2.2) As escadas de mão estão fixadas nos pisos superior e inferior, ou são dotadas de dispositivo que impeça escorregamento | | x |
| B3) SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA | | |
| B3.1) Há identificação dos locais de apoio (banheiro, escritório, almoxarifado, etc.) | | x |
| B3.2) Há alerta quanto a obrigatoriedade do uso de EPI, específico para a atividade executada, próximo ao posto de trabalho (NR-18) | | x |
| B4) EPI'S | | |
| B4.1) São fornecidos capacetes para visitantes | | x |
| B4.2) Independente da função todo trabalhador está usando botina e capacete | | x |
| B4.3) Os trabalhadores usam uniforme cedido pela empresa | | x |
| B5) INSTALAÇÕES ELÉTRICAS | | |
| B5.1) Circuitos e equipamentos tem partes vivas expostas, tais como fios desencapados | x | |
| B5.2) Os fios condutores estão em locais livres de trânsito de pessoas e equipamentos, de modo que está preservada sua isolação (NR-18) | | x |
| B5.3) Todas as máquinas e equipamentos elétricos estão ligados por conjunto plugue e tomada (NR-18) | x | |
| B5.4) As redes de alta tensão estão protegidas de modo a evitar contato acidentais com veículos, equipamentos e trabalhadores (NR-18) | x | |
| B5.5) Junto a cada disjuntor há identificação do circuito / equipamentos correspondentes | | x |
| B6) PROTEÇÃO CONTRA INCENDIO | | |
| B6.1) O canteiro possui extintor de incêndio | | x |

Quanto ao sistema de movimentação e armazenamento foram listados 24 itens, onde 18 destes, caracterizando 75% do total, “NÃO” é considerado no local estudado. Apenas 25% foram identificados como “SIM”, como pode ser observado no Quadro 3.

Quadro 3- Lista de verificação do canteiro de obra quanto ao sistema de movimentação e armazenamento

| C) SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| C1) VIAS DE CIRCULAÇÃO | | |
| C1.1) Há contrapiso nas áreas de circulação de materiais ou pessoas | | x |
| C1.3) É permitido o trânsito de carrinhos/jericas perto dos estoques em que tais equipamentos se fazem necessários | x | |
| C2) ENTULHO | | |
| C2.3) O canteiro está limpo, sem calça e sobras de madeira espalhadas, de forma que está prejudicada a segurança e circulação de materiais e pessoas. | x | |
| C2.4) O entulho é separado por tipo de material. | x | |
| O entulho é reaproveitado. | | x |
| C4) ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS | | |
| CIMENTO | | |
| C4.1) Existe estrado sob o estoque de cimento | | x |
| C4.2) As pilhas de cimento têm no máximo 10 sacos | x | |
| C4.3) O estoque está protegido da umidade em depósito fechado e coberto | x | |
| C4.4) É praticada estocagem do tipo PEPS (Primeiro saco a entrar é o primeiro saco a sair), utilizando, por exemplo, marcação da data de entrega em cada saco | | x |
| C4.5) No caso de as pilhas estarem adjacentes as paredes (do depósito ou não) há uma distância mínima de 0,30 m para permitir a circulação de ar | | x |
| AGREGADOS E ARGAMASSA | | |
| C4.6) As baias para areia/brita/argamassa têm contenção em três lados. | | x |
| C4.7) As baias têm fundo cimentado para evitar contaminação do estoque. | | x |
| C4.8) A areia é descarregada no local definitivo de armazenagem (não há duplo manuseio) | | x |
| C4.9) A argamassa é descarregada no local definitivo de armazenagem (não há duplo manuseio) | | x |
| C4.10) As baias de areia estão em locais protegidos da chuva ou tem cobertura com lona | | x |
| C4.11) As baias de areia e argamassa estão próximas da betoneira | x | |
| TIJOLOS/BLOCOS x AÇO | | x |
| C4.12) O aço é protegido do contato com o solo, sendo colocado sobre pontalotes de madeira e a camada de brita | | x |
| C4.14) As barras de aço são separadas e identificadas de acordo com a bitola (NR-18) | | x |
| C5) PRODUÇÃO DE ARGAMASSA CONCRETO | | |
| C5.2) A betoneira descarrega diretamente nos carrinhos | | x |
| C5.3) Há indicações de traço para a produção de concreto, e as mesmas estão em local visível | | x |
| C5.4) A dosagem do cimento é feita por peso | | x |
| C5.5) A dosagem da areia é feita com equipamentos dosador (padiola, carrinho, dosador ou equipamento semelhante que padronize a dosagem). | | x |
| C5.6) A dosagem da água é feita com equipamento dosador (recipiente graduado, caixa de descarga ou dispositivo semelhante). | | x |
| C5.7) A empresa possui uma central de concreto. | | x |

A Figura 9 apresenta um gráfico comparativo das respostas da lista de verificação para os três quesitos analisados no canteiro de obras.

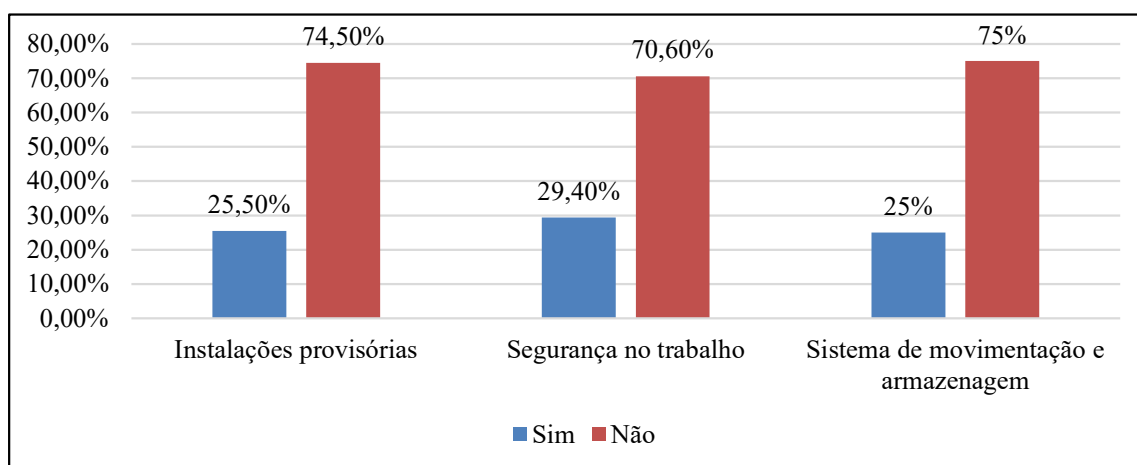


Figura 9- Comparativo entre respostas para os três quesitos analisados

Com base no que foi apresentado na lista de verificação, a grande maioria dos itens analisados não é empregado ao canteiro de obras do estádio. O modelo de lista foi adaptado para o tipo de canteiro a qual o local da pesquisa se enquadra, neste caso construções horizontais.

De acordo com os resultados da lista de verificação expostos no Gráfico da Figura 9, o aspecto instalações provisórias mostrou-se problemático, pois expressa a inexistência de itens básicos e essenciais para bem-estar dos trabalhadores em um canteiro de obras, estando em desconformidade com o que determina a NR 18 [13], que lista requisitos mínimos para as áreas de vivência. Apesar de as instalações provisórias serem o aspecto com maior quantidade de itens dispostos na lista de verificações, suas porcentagens de itens presentes ao canteiro foram muito baixas.

A segurança do trabalhador deve ser uma prioridade em qualquer empresa de construção civil, independentemente do seu tamanho, assim como oferecer um local de trabalho seguro é essencial para diminuir o risco de acidentes relacionados ao trabalho. O Gráfico da Figura 9 define a segurança no trabalho como o aspecto mais fragilizado, possuindo a maior parcela de itens que não existem ou não são utilizados no empreendimento, expondo a deficiência da fiscalização na obra por meio dos órgãos competentes.

O sistema de movimentação e armazenagem é o aspecto com maior índice de itens que não se aplica no canteiro de obras avaliado, um total de 75% dos itens. É importante ressaltar que o sistema de movimentação de uma obra é desenvolvido para melhorar a coordenação e deslocamento dos materiais, com o objetivo de reduzir os custos de transportes, assim como a armazenagem dos materiais influencia diretamente nos custos e na produtividade.

Ao desenvolver uma análise geral dos aspectos do canteiro de obras, pôde-se constatar que, entre os 84 itens verificados, 22 foram positivos e 62, representando 73,8%, foram negativos. O Gráfico da Figura 10 faz um comparativo dos valores obtidos, destacando o percentual de todos os itens avaliados.



Figura 10 - Comparativo geral considerando todos os requisitos analisados

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseada na comparação dos resultados da pesquisa com trabalhos anteriores, a NR-18 [13] e demais normas regulamentadoras que regem o assunto em questão, pôde-se concluir que o canteiro estudado se encontra inadequado e irregular, por não apresentar as condições mínimas de trabalho, que exigem um espaço bem-organizado, garantindo agilidade, segurança e comodidade aos trabalhadores.

Com base nos resultados da lista de verificação em que foi constatado que 73,8% dos itens analisados não existem ou não são aplicados no canteiro, são sugeridas melhorias para o planejamento e layout desse canteiro, em que inicialmente, deve-se considerar a organização dos materiais de maneira a evitar desperdícios, tanto no transporte quanto no armazenamento, adequar as instalações provisórias às orientações da NR-18 [13], que lista requisitos mínimos para as áreas de vivência. Ao considerar as condições de trabalho precárias à segurança do trabalhador, deve-se colocar em prática as principais medidas de controle dos riscos de acidentes e doenças ocupacionais enfatizando a importância do uso de EPI's e EPC's pela equipe, bem como a presença de profissionais capacitados. Por fim, a implantação dos 5 sentidos que é um programa de gestão da qualidade nas organizações. É necessário salientar que a existência da fiscalização por parte dos órgãos responsáveis é altamente necessária e de extrema importância para o cumprimento das exigências das normas regulamentadoras.

Para pesquisas futuras, foi sugerida a elaboração de um layout adequado para o canteiro de obras, bem como a aplicação das melhorias sugeridas ao longo deste estudo e a comparação quanto às adequações a NR-18 [13].

REFERÊNCIAS

- [1] LISBOA, R.J.S. CASTRO, W.C.C. **Planejamento Operacional nos Canteiros de Obras: Estudo de caso na cidade de Goiânia**. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Educação Ciências e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, GO, Brasil, 2018.
- [2] ASSIS, J.G.S.L. BARBOSA, R.E.Q. **Análise do planejamento logístico em dois canteiros de obra na parte baixa do município de Maceió- AL**. Trabalho de Conclusão de Curso de (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Centro, Centro Universitário CESMAC, Maceió, 2018.
- [3] ANDAYESH, M., & SADEGHPOUR, F. (2013). **Dynamic site layout planning through minimization of total potential energy. Automation in Construction**, 31, 92-102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.039>.
- [4] SADEGHPOUR, F E ANDAYESH, M. **The constructs of site layout modeling: na overview**. Canadian Journal of Civil Engineering, 2015.
- [5] LIMA, G. P. MELLOL. G. B. B. JEAN G. S. PINTO G. O. **Projeto e planejamento de canteiro de obras no Brasil: Uma revisão sobre as boas práticas e ferramentas utilizadas**. Research, Society and Development, 2021

- [6] SAURIN, T. A. FORMOSO, C. T. **Planejamento de Canteiro de Obras e Gestão de Processos**. Volume 3. Porto Alegre: Habitare, 2006.
- [7] AMORIM, E. (2018). **Análise do planejamento do canteiro de obras visando o processo produtivo: Estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) apresentado à Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ.
- [8] YIN, R. K. **O Estudo de caso**. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- [9] GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- [10] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/goianesia-do-para.html>> Acesso em: 10 de maio de 2022.
- [11] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 12655: **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 23, 2015.
- [12] ANJOS, M. dos S.; OLIVEIRA, M. R. Implantação do programa 5S em um canteiro de obras: um estudo de caso em Itabuna-BA. *ScientiaTec*, v. 5, n. 1, p. 137-156, 2018.
- [13] NR 18 – **Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2020.

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO

INDICADORES BASEADOS EM FICHAS DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇOS: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÕES VERTICAIS.

MACHADO, Felipe Martins¹; FARIA, Nathanaele Andrade²; RODRIGUES, Giana Sousa Sena³

¹ Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, eng.felipemachado@outlook.com, n° do ORCID 0000-0002-0899-4607

² Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, nathanaele.faria@hotmail.com, n° do ORCID 0000-0002-9711-0921

³ Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, gianasena@uol.com.br

RESUMO

O planejamento e o controle são atividades de gerenciamento essenciais ao sucesso do mercado da indústria da construção. O acompanhamento e o monitoramento contínuos do desenvolvimento de um projeto deve ser realizado pelos profissionais que participam ativamente de sua execução, subsidiando a obtenção de indicadores de retroalimentação dos processos e avanços na melhoria da produtividade. Este estudo tem como objetivo verificar a contribuição dos dados constantes nas Fichas de Verificação de Serviços (FVS's) para a elaboração de indicadores que sirvam de subsídio ao planejamento da execução de uma edificação vertical. Para tanto, foram analisados os documentos preenchidos durante a verificação de serviços relativos às frentes de instalações hidrossanitárias. Verificou-se, por meio da análise realizada, ausência/deficiências no detalhamento dos projetos, inadequações de preenchimento dos documentos de inspeção e ineficiência da FVS utilizada na verificação dos serviços. A partir das análises obtidas, constata-se que etapas importantes foram negligenciadas, importantes checagens necessárias não eram inspecionadas e, pela inexistência/deficiência de treinamento e qualificação da equipe de gestão da qualidade, detectou-se inadequações e subjetividade no preenchimento dos documentos.

Palavras-chave: indicadores; gerenciamento; planejamento; construção.

ABSTRACT

Planning and control are management activities essential to the success of the construction industry market. The continuous follow-up and monitoring of the development of a project must be carried out by professionals who actively participate in its execution, subsidizing the attainment of process feedback indicators and advances in productivity improvement. This study aims to verify the contribution of the data contained in the Service Verification Sheets (FVS's) for the elaboration of indicators that serve as a subsidy for the planning of the execution of a vertical building. For that, the documents filled in during the verification of services related to the fronts of hydrosanitary installations were analyzed. Through the analysis carried out, it was found absence/deficiencies in the details of the projects, inadequacies in filling out the inspection documents and inefficiency of the FVS used in the verification of the services. From the analyzes obtained, it appears that important steps were neglected, important necessary checks were not inspected and, due to the lack/deficiency of training and qualification of the quality management team, inadequacies and subjectivity were detected in filling out the documents.

Keywords: indicators; management; planning; construction.

1. INTRODUÇÃO

Planejamento e gerenciamento são fundamentais para qualquer empresa ou projeto, permitindo o direcionamento do negócio. Alinhado com as estratégias, proporciona o desenvolvimento de pessoas e a integração colaborativa destas interfaces, em um processo cada vez mais minucioso e detalhado. Isso pode ser obtido com eficiência por meio de

indicadores, ferramenta primordial disponibilizada pelo planejamento, que permite ao gestor, habitualmente, acompanhar e revisar pontos que não foram suficientemente previstos gerando o mínimo impacto possível.

Considerando que a elaboração do planejamento influencia e impacta diretamente o controle da qualidade e, do desempenho global de um empreendimento, firma-se a necessidade do desenvolvimento de estudos que contemplem o cenário da execução dos serviços em obras, suas inadequações e as limitações dos procedimentos de inspeção. Este estudo tem como objetivo verificar a contribuição dos dados compilados nas Fichas de Verificação de Serviços (FVS) para a elaboração de indicadores que sirvam de subsídio ao planejamento da execução de uma edificação vertical, as inadequações de preenchimento das FVS's aplicadas às frentes de execução de ramais aéreos, por retratarem maiores índices de chamados de pós-obra da empresa analisada, mapear etapas negligenciadas nestes processos executivos, analisar por meio de indicadores, as causas prováveis, e, propor uma nova FVS que atenda os critérios de inspeção.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gerenciamento

Gerenciamento nada mais é que organizar, direcionar, elaborar e executar projetos no intuito de introduzir inovações, agregar valor, otimizando prazos e recursos. Com isso percebe-se que a elaboração de um bom projeto, com seus estudos correntes, averiguações, planejamento eficaz e gerenciamento, alinhados com o comprometimento dos envolvidos no processo, contribuem para o sucesso esperado de acordo com Silva [1].

Machado [2] define que as funções básicas dos sistemas de gerenciamento são planejamento e controle. Enquanto o planejamento estabelece as metas e a ordem que devem ser seguidas para atingir os objetivos, o controle apura se essa ordem aproxima ou não do planejado, influenciando diretamente nas etapas de replanejamento e retroalimentação. Para Goldman [3], o papel do gerenciamento se torna cada vez mais importante. Geralmente essa atribuição de gerenciar é delegada ao gestor direto da obra, o engenheiro.

2.2 Planejamento

Silva [1] e Brandalise [4] definem o planejamento como um processo dinâmico e contínuo, de atribuição administrativa, que compõe um conjunto de táticas (meio) para um objetivo futuro (claros e sucintos), com a finalidade de proporcionar a melhor tomada de decisões antecipadas (metas). As medidas adotadas devem ser caracterizadas de modo que sua realização seja mais conveniente, observando elementos como prazo, custos, qualidade e segurança, sem possibilitar incertezas, atribuindo a responsabilidade a cada integrante do processo, assegurando uma supervisão eficaz e aumentando a eficiência da equipe.

Para Machado [2], o planejamento justifica ações como proporcionar a interface central das informações e conhecimentos de acordo com seu nível de importância, com criação de indicadores que auxiliem no gerenciamento e controle da produção. Para o autor, planejar inclui julgar ideias implementadas num dado espaço de tempo, compreendendo desde as medidas iniciais até sua concretização.

Segundo Goldman [3], o planejamento se torna necessário diante da necessidade de se organizar perante um meio complexo, que é a construção de uma edificação. Nesse contexto, Brandalise [4] aborda o modelo de planejamento em três etapas: a de preparação, a de planejamento e controle e, por fim, a de avaliação.

2.3 Indicadores

Para Silva [5] o tempo é o primordial dos indicadores, pois seu descontrole influencia o desempenho integral do projeto. Oliveira [6] apresenta os indicadores como quantificadores das características de avaliação formulado em bases mensuráveis. Com a implantação de indicadores e a evolução do sistema de qualidade, as não conformidades podem ser reduzidas significativamente.

Costa [7] afirma que a evolução do processo de medição deve ser analisada pela corporação por meio de um conjunto de indicadores relativos às estratégias, planos de ação e objetivos da corporação permitindo a avaliação da eficiência ou

eficácia de seus processos. Para Lantelme [8] os indicadores de produtividade representam a eficiência do processo para obter os resultados esperados.

Oliveira [9] destaca que, é de responsabilidade do gestor garantir que os processos sejam seguidos por meio do gerenciamento da produção. A inspeção deve ser padronizada e documentada na organização para garantir a aplicação dos mesmos critérios em seus processos. Para isso, podem ser utilizados formulários como os de Procedimentos de Execução de Serviços (PES), Procedimentos de Inspeção de Serviços (PIS), Ficha de Verificação de Serviços (FVS), dentre outros.

3. METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida neste estudo de caso partiu da busca de autorização junto a uma obra de edificação vertical, com acompanhamento da inspeção dos serviços e acesso à documentação adotada no planejamento e controle da qualidade. Após obtenção da autorização, realizou-se a primeira visita *in loco* ao empreendimento, que conta com duas torres (A e B), dispostas em *layout* espelhado, multi-pavimentos, com apartamentos de 180 m² e 200 m², aproximadamente, com acabamento de alto padrão. Na fase inicial do estudo, a Torre A encontrava-se na fase de execução das instalações, enquanto a Torre B em fase de obra bruta e início da execução das instalações.

Seguindo a metodologia, foi verificada a quantidade de FVS's de instalações hidrossanitárias preenchidas manualmente pela equipe da obra, em formulário desenvolvido pelo departamento de qualidade. No total, foram obtidas 20 (vinte) FVS's, disponíveis para estudo. Estas fichas foram catalogadas, identificadas e separadas de acordo com suas similaridades. Foram separadas 11 (onze) FVS's referentes ao serviço de execução de ramais aéreos, devidamente preenchidas para os serviços já executados na Torre A.

Durante a visita as FVS's disponibilizadas foram submetidas à análise, por meio da verificação de conformidade com o serviço executado. Verificou-se várias inadequações (detectadas pela vistoria), enquanto constava, nas FVS's preenchidas, o apontamento da aprovação em todos os critérios de avaliação. Verificou-se ainda que a mesma equipe de profissionais responsável pela execução dos serviços analisados pelas FVS's preenchidas da Torre A executavam o mesmo serviço na Torre B. Em consequência da observação das incoerências citadas, realizou-se uma nova inspeção, adotando-se a FVS disponível na obra (doravante designada como FVS-Obra), a fim de comparar o julgamento atribuído pelos pesquisadores a cada critério da FVS ao julgamento atribuído pela equipe de gestão da qualidade, durante o preenchimento das FVS's adotadas no estudo.

Realizou-se, ainda, a análise do conteúdo da FVS-Obra, a fim de verificar se seus critérios contemplavam as especificações prescritas no catálogo do fabricante do material utilizado — Mexichem [10] —, as observações de projeto e ABNT NBR 5626:1998 – Instalação Predial de Água Fria [11]. A partir das constatações foi proposta uma FVS adequada às prescrições da norma NBR 5626 [11] e ao catálogo do fabricante [10].

A reinspeção dos mesmos serviços avaliados com a FVS-Obra, para ambas as torres, forneceu parâmetros adotados para comparação dos resultados de preenchimento. Estes dados foram comparados com os resultados obtidos nas inspeções realizadas pela obra. Em seguida, foi realizada a comparação dos resultados da Torre A com a Torre B utilizando a FVS-Norma, com o objetivo de identificar semelhanças e diferenças executivas entre as torres. Finalmente, os critérios dispostos na FVS-Obra foram submetidos a uma análise comparativa com a FVS-Norma, com propósito de identificar o nível de adequação existente entre ambas.

No decorrer deste estudo, foi elaborado, pela obra, o documento *as built* para os ramais aéreos executados nos ambientes da cozinha e área de serviço dos apartamentos das Torres A e B, pois estes apresentaram inadequações de execução e incompatibilidades com o código de obras e edificações do município de Goiânia [12], que não correspondiam ao projeto hidrossanitário inicial da obra.

Após o levantamento de todos os dados, estes foram tabulados, permitindo a criação de indicadores e a elaboração de tabelas e gráficos que pudessem permitir uma investigação dos resultados obtidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Projetado versus executado

A etapa mais importante para execução dos serviços de instalações hidráulicas é a concepção do projeto eficiente, com o máximo de detalhamento possível, com indicações de trechos, inclinações, tipologia das tubulações, dimensões, assim como as conexões. Apesar de não haver norma específica para detalhamento deste tipo de projeto, há um consenso entre projetistas, de que essa prescrição, a nível de projeto executivo, é essencial. A análise realizada indicou que, para o serviço analisado, foi disponibilizado na obra apenas o projeto básico. Um dos motivos para essa afirmação, é que o projeto apresentava baixa qualidade de informações, detalhamento e especificações.

Em relação às tubulações, a NBR 5626 [11] e o catálogo do fabricante [10] não mencionam informações a respeito de distâncias mínimas para elementos de fixação dos tubos, indispensável na correta fixação e impedir que as tubulações se deformem, ocasionando tensões por excesso de curvaturas. Na inspeção da etapa de fixação, verificou-se que os pontos de instalações dos acessórios são locais de maior importância do subsistema, notadamente mais frágeis, e apresentam, na maioria dos chamados de pós-obra, a causa principal para ocorrência de manifestações patológicas. Com relação à fixação das caixas sifonadas, verificou-se que este serviço foi realizado com fita metálica perfurada, fixada no elemento estrutural, ou seja, na laje, conforme mostrado na Figura 1. Esta prática executiva contraria a especificação indicada no catálogo do fabricante, segundo o qual a fixação deveria ser realizada com a adoção de abraçadeira metálica roscável, conforme esquema da Figura 2.



Figura 1 – Caixa sifonada fixada com fita metálica.



Figura 2 – Especificação de fixação da caixa sifonada.
Fonte: Mexichem [10].

4.2 Análise FVS-Obra e Inadequações de preenchimento

Adotando a FVS-Obra, a frente de serviço foi reinspecionada pelos pesquisadores e a análise apresentada na Tabela 1. Constatou-se que 37,5% dos itens avaliados não atendiam a conformidade do serviço da Torre A, em relação aos itens de checagem. Os prolongamentos na estrutura, a fixação de apoio das tubulações e sua montagem apresentaram inadequações executivas. Para estes itens, o preenchimento feito pela equipe de gestão da qualidade registrava que 100% do serviço executado estava adequado.

Tabela 1 – Conformidade serviço reinspecionado, utilizando a FVS-Obra.

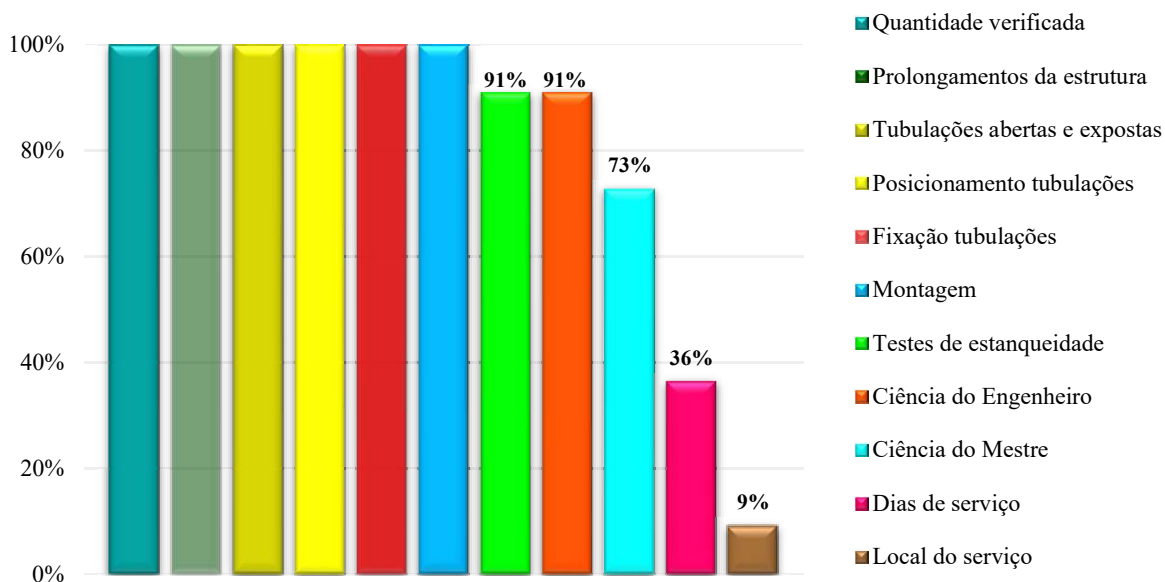
| Itens FVS-Obra | Inspeção Obra | | Reinspeção | |
|-------------------------|---------------|---------|------------|---------|
| | Torre A | Torre B | Torre A | Torre B |
| Quantidade conforme | 8 | 8 | 5 | 8 |
| Quantidade não conforme | 0 | 0 | 3 | 0 |
| Quantidade total | 8 | 8 | 8 | 8 |
| % Conforme | 100% | 100% | 62,5% | 100% |
| % Não conforme | 0% | 0% | 37,5% | 0% |

Após a verificação das inconformidades), foi realizada a revisão das 11 (onze) FVS's analisadas, referentes aos serviços de ramais aéreos executados do 3º ao 13º pavimento da Torre A. Dentre os 18 campos analisados nas FVS's, 72,2% apresentaram inconsistências, o que representa 13 itens do total. O Gráfico 1, ilustra as inadequações detectadas.

As maiores frequências de inadequações foram observadas em seis campos da FVS-Obra, a saber: quantidade verificada; prolongamentos na estrutura; tubulações com aberturas expostas; posicionamento; fixação de apoio; e, montagem das tubulações. O campo destinado ao preenchimento da quantidade verificada não foi preenchido em nenhuma das FVS's analisadas. Logo, mediante a omissão, não é possível mensurar quantas e quais unidades receberam a inspeção do serviço, tampouco se foram efetivamente inspecionadas. Para os demais campos analisados, o serviço executado encontrava-se diferente do projetado ou não se enquadrava nos critérios de aprovação dos itens constantes na FVS-Obra.

Gráfico 1 – Ocorrência inadequações de preenchimento FVS-Obra.

Inadequações de Preenchimento das FVS's



A verificação do teste de estanqueidade registrou 91% de inadequações. Ou seja, apenas um pavimento foi submetido a essa inspeção antes mesmo da finalização da verificação do serviço, enquanto que nos outros 10 pavimentos essa etapa foi desprezada, dando a verificação de todos esses pavimentos como concluída.

Outro tópico relevante trata da cientificação dos responsáveis para liberação do serviço. É por meio do acompanhamento imediato da execução pelos responsáveis, que a equipe de planejamento e controle pode tomar decisões que afetam o cronograma físico-financeiro da obra. Do total de 11 (onze) pavimentos, oito poderiam ter seus problemas mitigados pelo mestre de obras. Ou ainda, 10 (dez) destes pavimentos poderiam ter sido criticados pelo responsável técnico da obra, o engenheiro, em tempo hábil. Essa premissa estende-se também à duração do serviço, observada por meio dos campos destinados ao preenchimento de início e término de execução da frente de serviço. Das 11 (onze) FVS's analisadas, 36% apresentaram discrepâncias em relação às demais.

Registrou-se ainda, 9% de inadequações no preenchimento do local do serviço. Infere-se que um dos pavimentos havia recebido a inspeção em duplicidade, enquanto em outro pavimento a inspeção havia sido negligenciada. Por meio da análise de preenchimento dos campos de datas de início e término da execução, equipe executora e dos campos de data de verificação do serviço, entende-se que se trata de pavimentos distintos, denotando a conclusão de erro no preenchimento.

4.3 Comparativo FVS-Obra versus FVS-Norma

Foi sugerida a FVS-Norma, com base nos requisitos que atendessem o disposto na NBR 5626 [11]; o projeto da obra e suas peculiaridades; o método construtivo adotado pela construtora; e a especificação do fabricante do material, conforme o catálogo [10]. De posse de ambas FVS's, foi possível realizar uma análise comparativa. Considerando que um item de inspeção da FVS-Obra fosse também um item de inspeção na FVS-Norma, convencionou-se que este item era conforme. Para o item de inspeção da FVS-Norma que não foi prevista na FVS-Obra, este foi julgado como não conforme.

A FVS-Obra inspecionava oito itens, separados em sete grupos, enquanto que a FVS-Norma inspecionava 15 itens, distribuídos em sete grupos distintos. Foram inseridos sete critérios de inspeção não contemplados pela FVS-Obra. Trata-se da inspeção das inclinações de diferentes diâmetros de tubulações; posição do corte e aparo das rebarbas dos tubos; lixação e aplicação de solução limpadora nas tubulações e conexões soldáveis; encaixe correto nas conexões; instalação dos ramais aéreos conforme projeto, permitindo a vinculação dos ramais de utilização e consumo; instalação e diâmetro dos acessórios conforme especificação; e ainda, o tempo mínimo para expor as tubulações aos testes de pressão e estanqueidade. O resultado comparativo entre as FVS's é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparativo entre FVS's.

| Itens | Quantidade | Percentual |
|--------------|------------|------------|
| Conforme | 8 | 53,3% |
| Não conforme | 7 | 46,7% |
| Totais | 15 | 100% |

A partir desse diagnóstico comparativo, verificou-se que a FVS-Obra apresentava 53,3% de conformidade em relação à FVS-Norma elaborada neste estudo. Assim, apenas oito itens constavam em ambas FVS's. Os outros 46,7% de não conformidade entre uma e outra FVS's relacionava-se ao acréscimo de sete critérios, anteriormente não inspecionados. Denota-se que esse acréscimo, omitido anteriormente, não participava da avaliação do serviço, comprometendo a análise qualitativa dos serviços executados.

4.4 Reinspeção do serviço com base na FVS-Norma

Com base na FVS-Norma, foi realizada a reinspeção dos serviços, obtendo-se os dados da Tabela 3.

Tabela 3 – Conformidade serviço reinspecionado, utilizando a FVS-Norma.

| Itens FVS-Norma | Torre A | Torre B |
|-------------------------|---------|---------|
| Quantidade conforme | 8 | 14 |
| Quantidade não conforme | 7 | 1 |
| Quantidade total | 15 | 15 |
| % Conforme | 53,3% | 93,3% |
| % Não conforme | 46,7% | 6,7% |

Na Torre A, verificou-se 46,7% de itens não conformes, enquanto que na Torre B observou-se 6,7% de inadequações. Estima-se que o elevado índice de não conformidades da Torre A, deu-se por conta de falhas no projeto, em que se verificou a necessidade de alteração de passagens das tubulações na estrutura, para garantir melhor eficiência na sua instalação e posicionamento. Além disso, as extremidades dos ramais aéreos, que receberiam os ramais isométricos na sequência, não foram vedadas, possibilitando que as tubulações fossem obstruídas, comprometendo assim o funcionamento do subsistema.

Outros fatores observados na etapa de montagem demonstraram que as tubulações não foram instaladas respeitando as inclinações previstas em projeto, ficando curvadas e fixadas sob esforço na Torre A, conforme Figura 3. A correta execução de fixação das tubulações sem esforços, ou seja, sem tensões e curvaturas, conforme executado na Torre B pode ser observado na Figura 4. Foi observado que as extremidades das tubulações não foram lixadas e limpas com solução limpadora indicada pelo fabricante, nas duas torres. Constatou-se ainda deficiências no encaixe até o fundo da bolsa, impedindo a fixação.



Figura 3 – Tubulações instaladas e fixadas sob esforço, na Torre A.



Figura 4 - Tubulações instaladas e fixadas sem curvaturas, na Torre B.

A quantidade expressiva de itens não conformes, levou a reavaliação do projeto, principalmente no nível de detalhamento, para adaptação durante a execução da Torre A, com a necessidade de desenvolvimento do documento *as built*. Verificou-se que grande parte das inadequações executivas constatadas não ocorreram na Torre B, uma vez que a equipe estava habituada a replicar o processo corretamente, em decorrência do retrabalho na Torre A. Justifica-se, portanto, a redução da quantidade de itens não conformes observadas na Torre B.

5. CONCLUSÕES

Pode-se afirmar que as falhas de execução ocorreram devido à falta de informações e detalhamento do projeto básico, insuficiente para orientar a execução dos serviços, nem contemplando as recomendações do fabricante do material, tampouco o disposto em norma.

Na etapa de reinspeção, as inadequações observadas se deram por conta da falta de critérios de avaliação objetivos, dispostos didaticamente a fim de auxiliar e orientar seu preenchimento na FVS-Obra, embora houvesse ausência de itens importantes para o julgamento completo do serviço que compromete a inspeção minuciosa. Essas justificativas são evidenciadas através dos indicadores apresentados nas Tabelas 1 e 3, em que se nota a inobservância no preenchimento das FVS's, com percentual considerável de não conformidade representados na reinspeção realizada para este estudo. Contudo não seria possível utilizar estes dados como medidas de retroalimentação para o replanejamento, nem para planejamentos futuros.

A correta inspeção e o preenchimento das FVS's são de extrema importância para o controle de qualidade, com grande potencial de ocasionar retrabalhos, impactando o planejamento e o controle, bem como o orçamento da obra, pois estas avaliam o desempenho das etapas de construção e refletem a eficiência na obtenção dos resultados esperados.

No decorrer deste estudo, observou-se a necessidade de verificação de serviços adjacentes às instalações hidrossanitárias, por ser um subsistema com grandes ramificações e conexões com os demais. Portanto, para estudos futuros, sugere-se a verificação dos serviços de passagem de tubulações nas estruturas; instalação e fixação de tubulações nas prumadas; instalações da canalização de água fria nas alvenarias; bem como a realização dos testes de pressão e estanqueidade, estabelecidos como critério de aprovação condicional para a verificação do serviço de ramais aéreos.

REFERÊNCIAS

- [1] SILVA, Marize S. T. C. Planejamento e controle de obras. Salvador, BA: Escola Politécnica, 2011. Originalmente apresentada como monografia para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, 2011.
- [2] MACHADO. R. L. A sistematização de antecipações gerenciais no planejamento da produção de sistemas da construção civil. 2003. 282 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- [3] GOLDMAN, Pedrinho. Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira. 4. ed. São Paulo: Pini, 2004. 176 p. Inclui índice. ISBN 85-7266-155-7.
- [4] BRANDALISE, Diego. A importância do gerenciamento do tempo em projetos de construção civil. 2017. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – pós-graduação em Gerenciamento de Projetos, Faculdade Getúlio Vargas Botafogo, Rio de Janeiro, 2017.
- [5] SILVA, M. V. B. Gestão do tempo na construção civil e sua relação com as demais áreas da gestão de projetos. Revista On-Line IPOG. Goiânia, v.01, n.010, p. 1-14, jan. 2015. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/10869228-Gestao-do-tempo-na-construcao-civil-e-sua-relacao-com-as-demais-areas-da-gestao-de-projetos.html>>. Acessado em mar. 2019.
- [6] OLIVEIRA, M. A. P. A utilização de indicadores no controle da qualidade na construção civil: Estudo de caso. 2014. 49 f. Monografia (Especialização) – pós-graduação em Gestão Estratégica da Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- [7] COSTA. D. B. Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas da construção civil. 2003. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia na modalidade Acadêmico) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- [8] LANTELME. E. M. V. Proposta de um sistema de indicadores de qualidade e produtividade para a construção civil. 1994. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- [9] OLIVEIRA, D. F. Levantamento de causas de patologias na construção civil. Rio de Janeiro, RJ: Escola Politécnica, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- [10] MEXICHEM BRASIL. Catálogo linha predial master soluções Amanco, 2019. São Paulo, 2019. 296 p.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998. 41 p.
- [12] GOIÂNIA. Lei complementar nº 177, de 09 de janeiro de 2008. Diário Oficial [do] Município de Goiânia, Poder Executivo, Goiânia, GO, 16 jan. 2008. n. 4.285, p. 1-40.

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

ANÁLISE DA INTERRELAÇÃO ENTRE PROFISSIONAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E PROPRIETÁRIOS DE OBRAS DE PEQUENO PORTE EM IRATI - PR

CORREIA, Gabriel Luciano¹; GOBBI, Andressa²; LANGARO, Eloise Aparecida³, SILVA, Helenton Carlos da⁴

¹ Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, gabriluco@gmail.com

² Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, agobbi@uepg.br, 0000-0002-6696-3331

³ Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, calangaro@uepg.br, 0000-0002-0694-3531

⁴ Faculdades Integradas Norte do Paraná, Ponta Grossa, Brasil, helenton85@yahoo.com.br, 0000-0002-2384-2118

RESUMO

As relações interpessoais e funcionais estão integradas nos fatores e nos produtos da construção civil, sendo assim a compreensão de como ocorre essas relações entre engenheiro civil ou arquiteto, mão de obra e clientes, é de muita importância para que se evitem problemas entre essas partes e nos processos da obra em geral. A justificativa do trabalho se faz pela reclamação das partes envolvidas sobre o processo de construção que, muitas vezes, gera conflitos entre elas, além de divergências de qualidade e presença de várias manifestações patológicas nas obras. O presente trabalho tem como objetivo geral realizar um levantamento acerca da relação profissional entre engenheiros civis, arquitetos, clientes e funcionários das obras de pequeno porte da região de Irati, Paraná. A coleta de dados foi proveniente de questionários entregues a todas as partes relacionadas, com a posterior tabulação dos dados, que foram compilados por meio de planilha eletrônica para organização das informações e elaboração de gráficos. Com base nos resultados foi possível perceber que a comunicação entre todas as partes envolvidas pode evitar conflitos e a assiduidade do profissional responsável favorece a qualidade e satisfação na entrega final.

Palavras-chave: relações interpessoais; obras de pequeno porte; gestão de pessoas; construção civil.

ABSTRACT

Interpersonal and functional relationships are integrated into the factors and products of civil construction, therefore the understanding of how these relationships between civil engineer or architect, employees and customers occur is very important to avoid problems between these parts and in the work processes in general. The justification of the work is made by the complaints of the parties involved about the construction process that often generates conflicts between them, in addition to quality differences and the presence of various pathological manifestations in the constructions. The general objective of the present work is to carry out a survey about the professional relationship between civil engineers, architects, customers and employees of small-sized constructions in the region of Irati, Paraná. Data collection came from questionnaires delivered to all related parties, with the subsequent tabulation of data, which were compiled using an electronic spreadsheet for organizing information and drawing up graphs. Based on the results, it was possible to perceive that communication between all parties involved can avoid conflicts and the assiduity of the responsible professional favors quality and satisfaction in the final delivery.

Keywords: interpersonal relationships; small-sized constructions; people management; civil construction.

1. INTRODUÇÃO

Os fatores envolvidos em conflitos na construção civil normalmente podem estar relacionados à diversidade cultural, econômica e social entre os vários profissionais [1]. Diante desse cenário, o engenheiro precisa tornar os conflitos previsíveis para evitar problemas que podem prejudicar o andamento geral da obra, uma vez que a tipologia dos conflitos

pode ser: de liderança, comunicação, relacionamento interpessoal, conhecimento técnico, comportamentos agressivos, preconceitos, conflitos culturais e relacionamento vertical entre as partes [1].

Existem muitas atitudes que podem fracassar um serviço: comunicação inadequada, entrega de requisitos mal definidos para a equipe de execução, alteração constante dos requisitos, má integração do projeto com o todo, estimar os prazos e custos de forma equivocada, ser incapaz de gerenciar mudanças, acreditar que a empresa talvez não precise de mudanças organizacionais, o não comprometimento dos funcionários com o projeto, não definir bem o escopo e não compreender o cliente de forma correta [2]. Portanto uma comunicação eficiente entre as partes envolvidas é fator primordial para que um trabalho seja bem executado.

A comunicação é uma área que está diretamente ligada à gestão dos *stakeholders* (para o caso em análise: os clientes, os responsáveis técnicos e os trabalhadores da construção), em que os envolvidos possuem necessidades diferentes e a identificação das diferentes expectativas e o envolvimento das partes interessadas na gestão de comunicação pode ajudar a mitigar problemas [3].

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar um levantamento acerca da relação profissional entre engenheiros civis, arquitetos, clientes e funcionários das obras de pequeno porte da região de Irati, Paraná, para então correlacionar os motivos dos vários problemas enfrentados na construção civil. Fez-se necessário para a realização do objetivo proposto, o desenvolver um questionário para o entendimento da relação interpessoal em questão e a análise dos resultados obtidos por meio do questionário aplicado.

2. GESTÃO DE PESSOAS

As empresas são como organismos vivos, estão em constante ação e desenvolvimento, quando são bem-sucedidas sobrevivem ou crescem, e quando crescem, a sua complexidade e o número de pessoas aumentam [4]. A relação entre empresas e pessoas pode ser comparada com uma simbiose, contudo, organizações e pessoas buscam objetivos próprios e diferentes, que nem sempre coincidem e se ajustam mutuamente, considerando que as pessoas têm personalidade própria e diferentes entre si, cada uma com seus conhecimentos e habilidades que impulsionam as empresas. Assim, estas devem ser tratadas como parceiras [4].

A gestão de pessoas visa a cooperação de pessoas para a realização de objetivos organizacionais e individuais, e cada empresa tem a sua cultura organizacional que se caracteriza por seus valores, comportamento de seus membros e interações com o público [5]. Cada uma das partes tem o seu papel, os gestores contribuem com conhecimentos, competências, decisões e ações que dinamizam a organização; e esperam retornos de participação nos resultados e reconhecimento [4]. Os funcionários contribuem com trabalho, esforço, competências, alcance de metas e resultados; e esperam retornos de salários, benefícios e satisfação; já os clientes contribuem com a aquisição e uso de bens e serviços, e esperam retornos de qualidade, preço, satisfação com atendimento e com o uso [4].

A liderança é bem complexa, provém de traços e comportamentos pessoais e sua eficiência varia de acordo com a situação [5]. O gestor de pessoas deve atender os usuários internos e externos da empresa, manter-se aberto a novas tecnologias administrativas, proporcionar a empresa funcionários motivados e capacitados, preocupar-se com a qualidade de vida que os funcionários apresentam no trabalho, além de agregar valor aos funcionários, à empresa e aos clientes [5]. As empresas buscam um crescimento sustentável, produtividade, qualidade em serviços e produtos, ampliação de mercado, novos clientes, competitividade e reputação; e os funcionários buscam, melhores salários e benefícios, estabilidade segurança no trabalho [4].

A produtividade dos funcionários está relacionada à competitividade das empresas, e essa produtividade depende da capacitação e motivação, sendo a capacitação de responsabilidade do setor de gestão de pessoas, no quesito de seleção, treinamento e desenvolvimento, e a motivação está mais relacionada ao trabalhador, mas é possível a empresa influenciá-la [5]. A identificação dos funcionários com a cultura e objetivos da empresa representa uma vantagem, pois é nessa posição em que eles são mais produtivos; dessa forma a empresa deve criar estratégias para manter e atrair pessoas com essas características [5].

A gestão de pessoas deve criar mecanismos para contornar os problemas do cotidiano profissional e ir além das relações interpessoais de uma forma que diminua a alta rotatividade dos trabalhadores e desenvolva assim um comprometimento

maior com a empresa [6]. Os conflitos de relacionamentos decorrem das variáveis individuais de personalidade, expectativa, valores, cultura, das diferentes formas de estímulo e motivação [6]. É necessário conhecer o cliente para conseguir atendê-lo, a partir daí desenvolver estratégias para treinamento de funcionários e assim atingir o objetivo e satisfação dos consumidores [5].

3. METODOLOGIA

A coleta de dados foi proveniente de questionários entregues para as partes relacionadas neste trabalho na cidade de Irati (engenheiros, arquitetos, clientes e trabalhadores da construção civil). As perguntas foram entregues a vinte engenheiros civis ou arquitetos, a vinte trabalhadores da construção civil, bem como à vinte famílias que construíram recentemente (nos últimos dez anos). As partes entrevistadas não necessariamente participaram da mesma obra. A pesquisa foi limitada a obras de pequeno porte.

Para a realização deste trabalho foi necessária a validação pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Ponta Grossa. E para isso foi realizado o cadastro dos pesquisadores na Plataforma Brasil a qual está disponível em (<https://plataformabrasil.saude.gov.br>). Posteriormente, foi realizado o cadastro desta pesquisa e a realização do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, com base na Resolução N° 466, de 12 de dezembro de 2012 e na Resolução N° 510, de 07 de abril de 2016, assegurando assim o respeito a dignidade humana e a proteção dos participantes, as quais estão disponíveis para consulta no site do Conselho Nacional de Saúde e no site do Governo do Brasil respectivamente.

Os participantes foram convidados a participar da pesquisa, os quais receberam uma via do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e outra via ficou na posse dos pesquisadores. Para a coleta de informações foi utilizado um questionário, que foi elaborado de acordo com o referencial teórico e observações pessoais. O questionário aplicado foi de múltipla escolha, podendo em algumas perguntas escolher mais de uma alternativa; também de perguntas descritivas, deixando livre ao entrevistado comentar o que ele desejasse para acrescentar conteúdo à pesquisa. Assim foi possível analisar de forma qualitativa a situação e expressar os resultados em gráficos com intuito de auxiliar as relações profissionais e pessoais que existem nas várias etapas de uma obra de pequeno porte.

Para a tabulação dos dados foi realizada inicialmente a contagem manual e leitura detalhada das respostas. Após esse primeiro contato com os questionários preenchidos, os dados foram compilados por meio de uma planilha eletrônica para organização das informações e posterior análise comparativa entre as categorias de respostas e elaboração de gráficos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os participantes, os clientes que construíram recentemente, em média construíram 155,7 m². A média das obras dos engenheiros civis e arquitetos ficou em 128,5 m², e dos trabalhadores da construção civil em 155,5 m². Participaram desse estudo 15 engenheiros civis e 5 arquitetos, e 20 profissionais da construção civil.

Com o intuito de entender o processo de escolha dos responsáveis técnicos das obras foi questionado aos clientes quais os pontos analisados para a seleção dos profissionais. Foi observado que na amostra estudada, 47,6% dos clientes escolhem o profissional por indicação, 28,6% são amigos do profissional, 9,5% conheceram por meio da placa de outra obra, 4,8% são familiares do profissional ou localizaram por meio de pesquisa de mercado, ou o profissional iniciou o contato oferecendo o seu serviço.

Outro tópico abordado foi relacionado aos aspectos dos profissionais que chamaram a atenção dos clientes. Pode-se verificar na Figura 1 que para os clientes, o item de maior relevância é o preço do serviço, com 33,3%. Seguido do conhecimento técnico do profissional, com 22,2%, e pode-se dizer que a propaganda da pessoa que indicou o profissional também contou bastante, com 11,1%, que destas apenas 3,7% fizeram uma pesquisa para validar a indicação. Contudo as outras qualidades citadas não podem ser deixadas de lado pois são muito importantes nas relações pessoais, tais como acessibilidade, atenção e amizade.

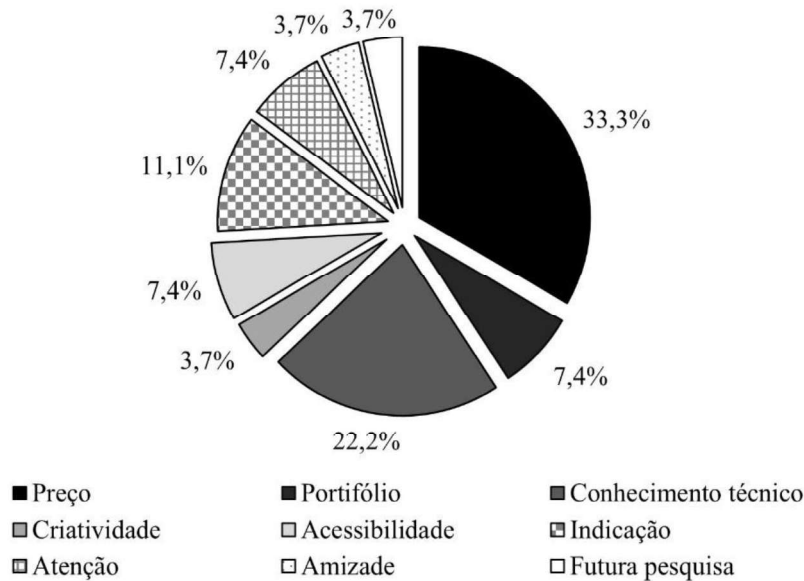


Figura 1 – Pontos do engenheiro civil ou arquiteto que chamaram a atenção.

Em relação ao preço, dentre os participantes que julgaram o preço ser um atrativo, 11,11% dos entrevistados não tiveram mais contato com o engenheiro civil ou arquiteto após o contrato, 33,33% tiveram atraso na obra e 44,44% não tiveram suas expectativas atendidas. Os clientes, além de receberem o produto ou o serviço com qualidade, também querem uma comunicação eficiente e periódica [2]. Já dos que não julgaram o preço como um diferencial, 9,09% tiveram atraso na obra e 27,27% não supriram suas expectativas. O grau de satisfação dos clientes em relação ao atendimento das expectativas dos serviços pode ser verificado na Figura 2.

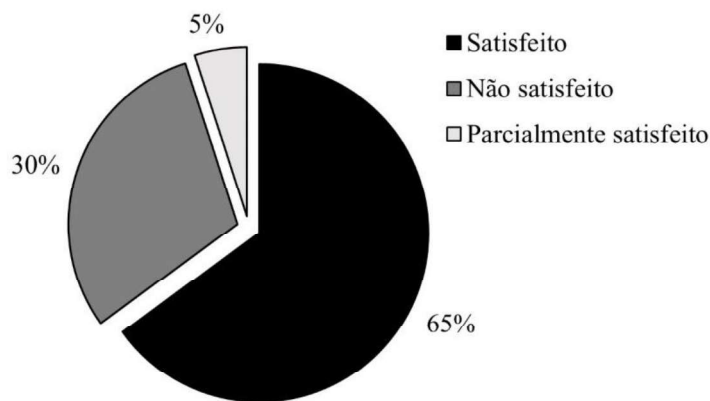


Figura 2 – Nível de satisfação com os serviços prestados aos clientes entrevistados.

Na Figura 2 é possível verificar que 30% dos entrevistados não ficaram satisfeitos com o serviço prestado. Dentre os motivos que geraram insatisfação foram relatados os seguintes problemas: o terreno não teve estudo preliminar para uma melhor adequação dos ambientes, o projetista poderia apresentar outras opções de planta baixa, a presença de erros de execução em relação ao projeto, demora no atendimento e abandono da equipe. O plano de gerenciamento do serviço inclui o gerenciamento da qualidade, que define o nível de aceitabilidade, descreve como atingir esse nível nas entregas e processos, e o que fazer com produtos não conformes e qual ação corretiva tomar [7].

E sobre a presença do engenheiro civil ou arquiteto no canteiro de obras, o que os clientes entrevistados relataram pode ser verificado na Figura 3. Pode-se notar que dos serviços prestados que o acompanhamento contemplava no contrato apenas metade dos profissionais eram assíduos na obra.

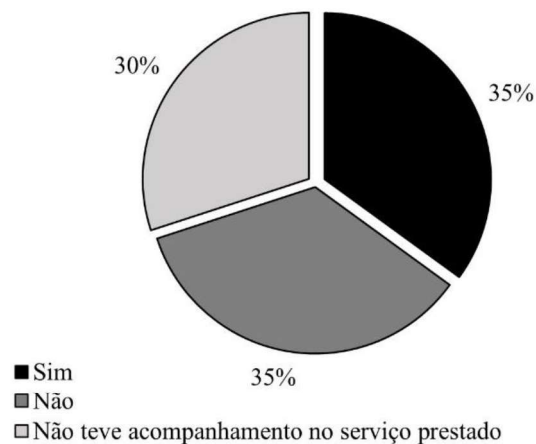


Figura 3 – Presença do engenheiro civil ou arquiteto no canteiro de obras.

Das obras em que houve acompanhamento do engenheiro civil ou arquiteto com assiduidade, em 14,29% delas houve atrasos, contudo quando o profissional não era presente o percentual de atrasos subiu para 42,86%. E dessas com falta de acompanhamento, 57,14% não atenderam a expectativa do cliente e 71,42% delas apresentaram problemas no pós-obra. De acordo com os números, verifica-se que a presença do profissional na obra é fundamental para o seu bom desempenho. O acompanhamento periódico é fundamental para identificar se o projeto está sendo executado dentro dos padrões e se atendem ao planejado [8].

Pode-se verificar na Figura 4 que o principal problema que os engenheiros civis ou arquitetos enfrentaram com os clientes foi a mudança na obra após definições em projeto, com 47,2%. Em seguida, a demora nas definições que lhe cabem, com 19,4% e em terceiro lugar o pagamento, com 16,7%.

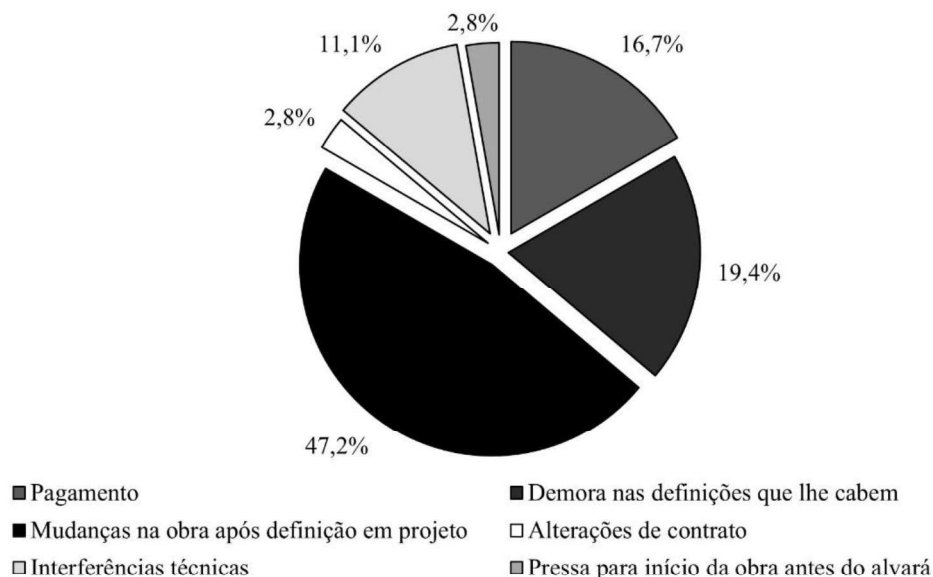


Figura 4 – Principais problemas dos engenheiros civis ou arquitetos enfrentados com os clientes.

Sobre o pós-obra, 55% dos clientes não tiveram problemas com a construção, já em contrapartida, 45% dos entrevistados relataram problemas. Dentre os problemas apresentados, foram citados: pisos sem caimento, vazamentos, problemas na parte elétrica, registros hidráulicos trocados, falta de espaço numa escada que foi mal projetada, trincas, umidade subindo pelo piso e paredes, falta do habite-se até o momento da entrevista e dois dos clientes entrevistados estão em processo judicial.

Correlacionando essas respostas, pode-se notar que destes que relataram problemas com a construção, em 77,77% dessas obras o engenheiro civil ou o arquiteto não era assíduo. E das obras que os clientes não indicaram problemas no pós-obra, 54,54% delas o engenheiro civil ou arquiteto também não era assíduo, dado preocupante sobre a presença do profissional técnico responsável pela execução e acompanhamento da construção.

O estudo dos conflitos no ambiente de trabalho não é apenas na identificação dos mesmos, mas também nas formas de evitar e diluir estes conflitos a fim de proporcionar um desenvolvimento harmônico entre o grupo de profissionais e clientes, e assim eliminar barreiras na cadeia produtiva [6]. Um dos maiores motivos para problemas entre o engenheiro e os colaboradores refere-se ao cumprimento do cronograma da obra. Além disso, a falta de conhecimento sobre gestão de pessoas por parte da formação do engenheiro é a causa da maioria dos conflitos no canteiro de obras [6] e muitas vezes dos problemas que surgem no pós-obra.

O envolvimento dos membros da equipe é muito importante, pois são eles que realizam o serviço, dessa forma eles devem estar presentes desde o planejamento do projeto. O gerente deve se comunicar com honestidade com a equipe durante o andamento dos serviços e celebrar os sucessos da equipe com os membros da mesma [2]. As atividades de lazer e reuniões no ambiente de trabalho estimulam a compreensão entre todos os envolvidos [6] e durante o processo do serviço é importante pedir *feedback* aos membros da equipe para aprimorá-lo [2], isso traz uma maior integração da equipe e comprometimento com o trabalho.

Dos profissionais da construção, 80% relataram não ter problemas com engenheiros civis e arquitetos, contudo um dos entrevistados citou que mesmo não tendo problemas ao seu ver sempre existem atritos, pois cada profissional possui uma forma individual de trabalhar. E os 20% que relataram problemas citaram: divergência nos projetos, falta do engenheiro civil ou arquiteto na obra, e dificuldade de comunicação pelo não atendimento das ligações. De todos os trabalhadores da construção civil entrevistados, 100% deles voltariam a trabalhar com engenheiros civis ou arquitetos. Dentre os relatos, foi registrada a dependência mútua dessa relação e que, mesmo ficando alguma pendência, eles voltariam a entrar em contato.

Dois dos clientes entrevistados citaram que é importante a presença dos clientes em todas as etapas. O gerenciamento da qualidade de um serviço é dever de todas as partes: do gerente, da equipe executora, do patrocinador e mesmo do cliente [7].

A última pergunta do questionário era pessoal, de modo que as pessoas entrevistadas colocassem o que julgam mais importante para uma melhor relação entre cliente, trabalhadores da construção e engenheiros civis ou arquitetos, para a execução de uma obra. A comunicação foi um dos itens mais citados por todos os envolvidos. Além disso, os clientes se preocupam muito com as qualidades do profissional que refletem na qualidade da obra, tais como: organização, proatividade e assiduidade. O que é bem compreensível, pois eles almejam receber um produto e serviço de qualidade.

Para os profissionais da construção civil a comunicação foi o item mais importante, listado por 55% dos participantes, bem como a parceria, o respeito, a tolerância e a experiência interpessoal, os quais também fazem parte do contexto. Além disso, um acordo bem definido e o trabalho em equipe também têm importância para os profissionais: estas respostas tiveram 30% e 15% de frequência.

Por fim, para os engenheiros civis e arquitetos, novamente a comunicação prevaleceu juntamente com outras qualidades que favorecem um bom diálogo entre todos, como: a cordialidade, saber ouvir, explicação dos porquês, dar exemplos práticos aos trabalhadores, empatia, resolução e respeito.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O questionário utilizado na pesquisa foi fundamental para a aquisição dos dados, os quais após organizados e expressos em gráficos proporcionaram uma melhor interpretação de resultados. Após a análise dos resultados, pôde-se perceber que para a maioria dos clientes quando buscam um engenheiro civil ou arquiteto (47,6%) a indicação é muito importante. O profissional que é contratado devido somente ao seu preço ser um diferencial pode não ser uma boa escolha ao cliente, pois foram as obras que mais apresentaram problemas no pós-obra.

Pode-se perceber também que a comunicação e entendimento entre todas as partes envolvidas teve muita importância. Esta, se for bem administrada, pode gerar um ambiente de trabalho melhor e assim evitar muitos problemas. Portanto, a questão ligada a gestão de pessoas é fator determinante na formação do engenheiro ou arquiteto.

Esta pesquisa é um panorama inicial de como está a relação entre as partes da construção civil e merece um aprofundamento de outros pesquisadores. Para que se tenha um estudo significativo, recomenda-se uma análise dedicada a alguns itens trabalhados nesta pesquisa com uma amostragem maior.

REFERÊNCIAS

- [1] VARELLA, V. D. **A gestão dos conflitos no canteiro de obras e suas consequências**. Monografia. Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2017. Disponível em: <<https://bdm.unb.br/handle/10483/20490>>. Acesso em: 29 de Setembro de 2021.
- [2] KERZNER, H. **Gestão de projetos: as melhores práticas**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2020.
- [3] CARVALHO, M. M.; RABECHINI JR., R. **Fundamentos em gestão de projetos**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2021.
- [4] CHIAVENATO, I. **Gestão de pessoas: o novo papel dos recursos humanos nas organizações**. 4ª ed. São Paulo: Manole, 2014.
- [5] GIL, A. C. **Gestão de pessoas: enfoque nos papéis profissionais**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- [6] TAVARES, A.; LONGO, O.; SUETH, R. Conflitos na gestão de pessoas na construção civil. In: **XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 2014.
- [7] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK)**. 6ª ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2017.
- [8] CANDIDO, R.; GNOATTO, A. A.; CALDANA, C. G.; SETTI, D.; SPANHOL, F. A.; SCHÜTZ, F.; de CARVALHO, H. A.; de OLIVEIRA, J.; KACHBA, Y. **Gerenciamento de projetos**. 1ª ed. Curitiba: Aymar, 2012.

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

UTILIZAÇÃO DA PSICODINÂMICA DO TRABALHO NO PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RISCOS (PGR) DA CONSTRUÇÃO CIVIL

SILVA, Renata Moreira de Sa¹; PEREIRA, Claudio Henrique de Almeida Feitosa²

¹ Instituto Federal de Brasília, Brasília-DF, Brasil, renata.silva@ifb.edu.br, 0000-0002-0765-3093

² Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, claudiopereira@unb.br; 0000-0003-2170-0068

RESUMO

A ocorrência de acidentes de trabalho persiste diariamente ainda que exista vasta legislação de segurança do trabalho em âmbito nacional que determina a implantação de sistemas de gestão de SST (Segurança e Saúde no Trabalho) em obras de construção civil fazendo com que os números de mortes e incapacitados ainda sejam considerados críticos. Assim, encontrar alternativas que mudem esse cenário passa a ser uma forma de melhorar o Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (GRO) em canteiros de obras, responsáveis por causar acidentes e doenças. Nesta perspectiva, uma pesquisa de doutoramento realiza um estudo piloto incluindo aspectos sociais na prevenção dos riscos ocupacionais através da utilização da Psicodinâmica do Trabalho (PDT) como uma ferramenta alternativa para a elaboração do PGR (Programa de Gerenciamento de Riscos) na busca de um eficaz gerenciamento de segurança.

Palavras-chave: gestão de SST; psicodinâmica do trabalho; gerenciamento de riscos ocupacionais; PGR; acidente de trabalho.

ABSTRACT

The occurrence of work accidents persists daily even though there is vast legislation on occupational safety at the national level that determines the implementation of OSH (Safety and Health at Work) management systems in civil construction works, causing the numbers of deaths and disabled are considered critical. Thus, finding alternatives that change this scenario becomes a way to improve the management of occupational risks at construction sites, responsible for causing accidents and diseases. In this perspective, a doctoral research carried out a pilot study including social aspects in the prevention of occupational risks through the use of Psychodynamics of Work (PDT) as an alternative way in the elaboration of the PGR (Risk Management Program) in the search for an effective management of workplace safety.

Keywords: OSH management; psychodynamics of work; occupational risk management; PGR; work accident.

1. INTRODUÇÃO

Um dos segmentos que mais registram acidentes de trabalho no Brasil, a construção civil é o primeiro do país em incapacidade permanente, o segundo em mortes (perde apenas para o transporte terrestre) e o quinto em afastamentos com mais de 15 dias [1].

Observa-se, atualmente, que um sistema de gestão baseado exclusivamente em regras prescritas pela gestão de SST (Segurança e Saúde no Trabalho), sem considerar as relações sociais de trabalho, não é suficiente para um eficaz gerenciamento de riscos ocupacionais, já que existe certa distância entre o planejado no escritório pela equipe de segurança do trabalho e o realizado em obra. O modelo prescrito costuma ser robusto e burocrático e, no canteiro de obras, muitas vezes não se consegue realizar dessa forma.

Segundo Dejours [2], os efeitos da dicotomia do trabalho prescrito e do trabalho real presentes na organização do trabalho pesam nos trabalhadores, especialmente, no pendor psicológico e mental e pode desencadear um sentimento ambíguo, que gera sofrimento. É fato que, as normas consolidadas atuam como limitadores ou facilitadores da realização da atividade laboral, visto que a singularidade das situações de trabalho faz que a realidade de execução sempre ultrapasse o modelo idealizado nos dispositivos técnicos.

Na construção civil, a base de produção ainda é manual, sendo constituída pelo trabalho braçal do operariado. Assim, se tratando de uma pessoa e não uma máquina, o operário é um ser pensante e com sentimentos e está sujeito a eles. Dessa forma, mesmo na obra existindo todos os equipamentos de proteção coletiva (EPC) e os trabalhadores estarem portando os devidos equipamentos de proteção individual (EPI) e terem passado por todos os treinamentos técnicos necessários e exigidos em lei, ainda assim, estes estão sujeitos a se acidentarem, haja vista a presença constante dos riscos psicossociais ocupacionais (RPO's).

Este novo grupo de riscos ocupacionais influencia de maneira o dia a dia de trabalho dos operários de construção civil, uma vez que apresentam-se de forma subjetiva e por essa razão novos modelos de prevenção necessitam ser utilizados para que se garanta um eficaz gerenciamento de segurança do trabalho.

Nessa vertente, este artigo apresenta a Psicodinâmica do Trabalho (PDT) proposta por Christophe Dejours, como uma ferramenta interessante no desenvolvimento do PGR (Programa de Gerenciamento de Riscos) em canteiros de obras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Riscos Ocupacionais

Diferentes categorias de riscos coexistem com maior frequência no ambiente de trabalho do que em qualquer outro lugar [3]. Assim, os riscos ocupacionais são constituídos por cinco fatores: físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e acidentes (ou mecânicos) [4].

Segundo a nova legislação em vigor, NR 9 - Avaliação e Controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos [5], para a prevenção e controle das exposições ocupacionais a estes agentes, devem ser adotadas as medidas necessárias para a eliminação ou o controle das exposições ocupacionais. A abrangência e profundidade das medidas de prevenção dependem das características das exposições e das necessidades de controle.

Assim, deve ser realizada análise preliminar das atividades de trabalho e dos dados já disponíveis relativos a estes agentes, a fim de determinar a necessidade de adoção direta de medidas de prevenção ou de realização de avaliações qualitativas ou, quando aplicáveis, de avaliações quantitativas. Dessa forma, os resultados das avaliações das exposições ocupacionais aos agentes físicos, químicos e biológicos devem ser incorporados ao inventário de riscos do PGR (Plano de Gerenciamento de Riscos).

Na indústria da construção, a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos previstos na NR 18 - Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção [6], determina que o PGR, seja obrigatório em canteiros de obras contemplando os riscos ocupacionais e suas respectivas medidas de prevenção e que seja elaborado e implementado por profissional legalmente habilitado em segurança do trabalho e implementado sob responsabilidade da organização, com exceção em canteiros de obras com até 7 m (sete metros) de altura e com, no máximo, 10 (dez) trabalhadores, o PGR pode ser elaborado por profissional qualificado em segurança do trabalho e implementado sob responsabilidade da organização. As exigências do PGR estão contempladas pela nova NR 01- Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais [7].

É importante destacar que a organização empregadora deve ainda considerar as condições de trabalho, nos termos da NR 17 - Ergonomia [8] e a avaliação ergonômica preliminar pode ser contemplada nas etapas do processo de identificação de perigos e de avaliação dos riscos, e também devem estar contidas no PGR.

Entretanto, com as novas configurações que o trabalho vem assumindo, surgem fatores que propiciam riscos psicossociais no trabalho e estes, passaram a representar um tema emergente em diferentes contextos [9]. Segundo Bouffartigue [10], a importância dos Riscos Psicossociais Ocupacionais (RPOs), vem sendo reconhecida paulatinamente por governos,

acadêmicos, organizações e sindicatos. Estas mudanças têm sido impulsionadas, por um lado, por novas formas de gestão com foco na otimização de recursos e flexibilidade e, por outro lado, pela constante inovação tecnológica, ambas situações emolduradas em um quadro de globalização intensa e constantes crises econômicas e sociais.

Para OIT [11], os RPOs são considerados emergentes e requerem novos modelos de prevenção. Esses riscos são decorrentes de interações entre trabalho, satisfação no trabalho e as condições da sua organização. Segundo a Agência Europeia para a Saúde e Segurança no Trabalho [12], os RPOs são considerados nocivos especialmente à saúde mental do trabalhador e decorrem de falhas na concepção, organização e gestão do trabalho, bem como de um contexto social laboral problemático, podendo ter efeitos negativos a nível psicológico, físico e social contribuindo para acidentes de trabalho e doenças.

Sendo assim, a partir do pressuposto de que a realidade de trabalho é muito complexa, que as regras e manuais possam, de fato, não prescrever antecipada e adequadamente o real do trabalho, acredita-se que a organização do trabalho sempre abrigará RPOs. Dessa forma, dificilmente existirá uma organização do trabalho que seja compatível em sua totalidade com a realidade da execução de um trabalho, expondo, em alguma situação ou momento, o trabalhador aos RPOs [13].

2.2 Psicodinâmica do Trabalho

A Psicodinâmica do Trabalho busca compreender os aspectos psíquicos e subjetivos que são mobilizados a partir das relações e da organização do trabalho.

Segundo Dejours [14], a organização do trabalho, mesmo sendo rigorosa, com indicações e procedimentos claros, é impossível aos trabalhadores atingirem os objetivos organizacionais caso respeitem à risca as prescrições, pois as situações de trabalho são permeadas de acontecimentos inesperados, panes, incidentes, anomalias de funcionamento, incoerências organizacionais, imprevistos de diversas naturezas advindos de matérias, ferramentas, máquinas e trabalhadores. Além disso, há outros aspectos a serem considerado na organização do trabalho, que englobam: a divisão do trabalho, o conteúdo da tarefa, o sistema hierárquico, as modalidades de comando, as relações de poder e as questões de responsabilidade. Em suma, chega a definir trabalho como tudo aquilo que não está prescrito, porque não é o prescrito que realiza o trabalho, mas sim o real. Dessa forma, as relações de trabalho, dentro das organizações, frequentemente, despojam o trabalhador de sua subjetividade, excluindo o sujeito e fazendo do homem uma vítima do seu trabalho.

Sem diminuir a importância do planejamento para coordenação das forças de trabalho de uma organização, é importante ressaltar o papel do trabalhador. O fato não é a divisão entre quem planeja e quem executa a tarefa (atividade), o núcleo do problema, mas a distância entre ambos. Isto porque, no entender de Dejours, e numa análise que se prolonga por mais de cinco décadas, as suas conclusões são as de que o trabalho (mal orientado e mal pensado) pode ter um papel nocivo na saúde mental dos trabalhadores.

Outro ponto de destaque é a ausência de reconhecimento e, como tal, de identidade, nos conflitos gerados pelo trabalho prescrito, muitas vezes demasiado restritivo e autoritário, numa planificação burocrática, repetitiva e exigente do processo produtivo. Em todos os casos citados, o trabalho extrapola o ser profissional e invade o ser pessoal, podendo lesar irreversivelmente os trabalhadores, não obstante os mecanismos de defesa que estes vão desenvolvendo [15].

Assim, o objetivo da PDT é a análise da vivência subjetiva de prazer, de sofrimento e das estratégias de mediação (defensivas) do sofrimento utilizadas face à organização do trabalho [16].

A metodologia original da PDT constitui um esquema de orientações que inicia com a demanda dos trabalhadores, a partir da qual o/a pesquisador/a se organiza, podendo contar com ajuda de auxiliares de pesquisa, para encontrar, no local de trabalho, um espaço de discussão pública onde os trabalhadores possam falar, individualmente ou em grupo, sobre a organização do trabalho. Nesse sentido, a pesquisa é o momento de escuta do trabalhador que, através da fala, poderá reconhecer o seu trabalho e seus significados, sendo fundamental a escuta desse sofrimento para posterior elaboração e apropriação do trabalho por parte dos trabalhadores [17].

Observa-se que a prática, principalmente no Brasil, vem sendo caracterizada pela adaptação do método PDT de Dejours ao campo de realização das pesquisas, com alegações diversas, dentre elas que tais mudanças na maneira de pesquisar favorecem novas formas de conhecimento [18].

2.3 Gerenciamento de Riscos Ocupacionais

O Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (GRO) busca nortear as organizações a respeito das diretrizes de implementação de medidas de prevenção de segurança e saúde no trabalho, com vistas a atender as Normas Regulamentadoras (NR) que são disposições complementares ao Capítulo V (Da Segurança e da Medicina do Trabalho) do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), com redação dada pela Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977 e consistem em obrigações, direitos e deveres a serem cumpridos por empregadores e trabalhadores com o objetivo de garantir trabalho seguro e sadio, prevenindo a ocorrência de doenças e acidentes de trabalho [19].

Recentemente, a gestão de riscos de segurança e saúde no Trabalho (SST), passou a ser definida como Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (GRO), através da nova NR 01- Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais [7], regulamentada pela Portaria 6.730, de 9 de março de 2020. Assim, com a mudança, as práticas definidas pela legislação foram expandidas, uma vez que, anteriormente, se limitava a definir o Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), e agora abrangem todos os aspectos do GRO.

Destaca-se que o PGR deve contemplar ou estar integrado com demais planos, programas e outros documentos previstos na legislação de segurança e saúde no trabalho.

Mediante as mudanças na legislação vigente e a nova presença dos RPOs, observa-se uma possibilidade de contribuição da PDT na elaboração do PGR, para um eficaz GRO, já que a partir do arcabouço teórico da Psicodinâmica do Trabalho, pode-se propor uma possibilidade de interpretação destes riscos, além de contribuir no planejamento e na condução das ações de prevenção e controle de seus fatores [20].

Assim, a PDT é convocada para essa discussão buscando agregar valores ao gerenciamento de riscos, através dos conceitos de saberes de prudência e de regras de ofício [21, 17].

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa utilizou-se na íntegra do que preconiza o método Psicodinâmica do Trabalho (PDT) de Dejours que consiste em uma pesquisa de abordagem qualitativa, onde os pesquisadores vão a campo buscando captar o fenômeno em estudo a partir da perspectiva das pessoas nele envolvidas, considerando todos os pontos de vista relevantes. Assim, vários tipos de dados são coletados para este estudo de investigação, a fim de se entender a dinâmica do fenômeno. Por conseguinte é realizado a *escuta clínica do trabalho* com uma *amostra de trabalhadores* utilizando *entrevistas coletivas e semi-estruturadas*.

A escolha da *amostra de trabalhadores* (participantes do projeto) aconteceu segundo as exigências do método de PDT, onde o grupo deve conter entre 10 a 15 pessoas voluntárias e ser do mesmo nível hierárquico. Essa necessidade é incompatível com a constituição de uma amostra representativa, mas em qualquer caso não há amostra representativa de subjetividades. É por isso que, todo membro do grupo que é constituído fala em seu próprio nome, sobre o que sente, sem se permitir "representar" alguém em relação a qualquer mandato. Por outro lado, os voluntários devem ser de um nível hierárquico relativamente homogêneo, pois a presença da gerência constitui um obstáculo ao discurso autêntico dos trabalhadores, e a dos trabalhadores se opondo ao mesmo obstáculo à palavra da administração. Desta forma, foram convidados operários com experiência em trabalhos em altura em obras de construção civil obedecendo ao critério de voluntariado (em todos os passos da pesquisa) ficando os participantes livres para optarem por seu prosseguimento, ou desistência a qualquer momento, devidamente esclarecidos antes das entrevistas, e registrado por escrito em um TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido), aprovado pelo Comitê de Ética, sob nº 4.111.462. É importante destacar que o voluntariado é uma condição inevitável, caso contrário a fala seria amordaçada.

A *equipe de pesquisadores* foi constituída por: dois pesquisadores, uma engenheira de segurança do trabalho e uma psicóloga (ambas com conhecimento em PDT) e uma auxiliar de pesquisa.

A *escuta clínica do trabalho* aconteceu por meio de *entrevistas coletiva e semi-estruturadas*, no próprio ambiente de trabalho, onde os trabalhadores da construção civil atuavam. Foram enfocados as trocas entre empregados, temas recorrentes, consensuais ou que são objeto de debate, aqueles que são abandonados assim que são abordados. Essa escuta

clínica do sentimento de situações de trabalho e as manifestações emocionais associadas a determinados temas (raiva, agitação, tristeza ...) ajudam a apoiar o esforço dos membros do grupo em colocar em palavras experiências e uma "experiência vivida" que às vezes nunca foram declaradas ou compartilhadas sobre a situação de trabalho.

A quantidade de encontros é definida pelo levantamento *in loco* realizado no início da pesquisa de campo. Pelo menos duas sessões de trabalho são necessárias, com pelo menos duas semanas de intervalo.

Assim, as investigações consistem em percorrer um mosaico de narrativas cujo significado emerge à medida que avançam.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a situação levantada *in loco* definiu-se a realização de 6 encontros no refeitório do canteiro de obras, com duração de 30 min, uma vez por semana, antes da jornada de trabalho, no momento dedicado ao DSS (Diálogo Semanal de Segurança). O intervalo de 1 semana entre cada encontro se faz necessário para que haja tempo de reflexão sobre os comentários próprios e dos demais participantes.

É importante destacar que toda a pesquisa de campo aconteceu durante a *Pandemia Covid 2019* (ocorrendo em junho e julho de 2021), onde nem trabalhadores e nem os pesquisadores haviam sido vacinados. Por essa razão, todos os protocolos de segurança em vigor foram devidamente seguidos a fim de evitar contaminação (distanciamento de segurança de no mínimo 1,5 m ; uso de máscaras de proteção e álcool em gel).

Todos os recursos físicos e eletrônicos necessários ao desenvolvimento dos trabalhos foram levados pela equipe de pesquisadores, sendo eles: *datashow*, *notebook*, caixa de som, material impresso de apoio aos trabalhos do dia e mimos aos funcionários sempre com uma mensagem motivacional. Cada participante também ao se propor a participar dos trabalhos, recebeu um *Kit*, contendo uma sacola padronizada, com um bloco de anotações, caneta, uma máscara institucional e uma garrafinha de água personalizada.

Desta forma, a *escuta clínica do trabalho* aconteceu com trabalhadores de construção civil voluntários que atuam em serviços em altura, em um espaço coletivo de fala onde priorizou-se o uso de perguntas abertas e a condução da entrevista pelos entrevistados, uma vez que o acesso à subjetividade se dá pela palavra relatada e sua expressão deve ser facilitada minimizando as barreiras que funcionam como censura (Foto 1a e 1b). Todas as entrevistas foram gravadas em formato digital, transcritas na íntegra e analisadas a luz da Psicodinâmica do Trabalho (PDT), em atenção para as falas dos entrevistados.



(a)



(b)

Foto 1 – Entrevista Coletiva semiestruturada com trabalhadores voluntários da construção civil que atuam em serviços em altura.

Para esta pesquisa, utilizou-se como Projeto Piloto, os seguintes temas nos 6 encontros: 1. As medidas de segurança do trabalho utilizadas pelos trabalhadores no desenvolver de suas atividades (dentre elas, EPI e EPC); 2. As dificuldades enfrentadas no trabalho para adotá-las e as formas de superá-las e; 3. As relações sociais de trabalho (sentimentos relacionados ao trabalho e as estratégias para lidar com eles).

Observou-se com avanço dos encontros, através das verbalizações dos participantes um maior engajamento e mudança na postura e na condução de suas atividades laborais. Passaram a reconhecer tanto seus pontos positivos, quanto negativos, assim como os do empregador. O fato de estarem sendo ouvidos e se sentirem partícipes do processo construtivo de gestão passou a fazer diferença e a refletir no dia a dia de trabalho, aumentando os cuidados com a segurança do ambiente de trabalho (própria e dos colegas) e aumento de produtividade. Dessa forma, contribuindo com a elaboração do PGR e aplicação do mesmo, haja vista a alimentação do processo de Gerenciamento de Segurança do Trabalho com os *feedbacks* obtidos com as reuniões de *escuta clínica do trabalho* à luz da Psicodinâmica do Trabalho (PDT).

CONCLUSÃO

Não há muitas oportunidades de participação dos trabalhadores no processo de gestão, fato determinante para a estagnação do fluxo de informações. Assim, reconhecer que avanços teóricos podem fornecer subsídios para uma nova visão sobre os riscos psicossociais, pode ser uma interessante alternativa no gerenciamento dos riscos ocupacionais (GRO), já que conceitos fundamentais da abordagem do PGR (Programa de Gerenciamento de Riscos) criam uma falsa impressão de que a dinâmica entre o trabalho e o processo de acidentes e adoecimento pode ser explicada apenas por elementos objetivos presentes no canteiro de obras e, deste modo, que os riscos ocupacionais poderiam ser eliminados a partir de uma intervenção direta de um especialista em engenharia de segurança do trabalho.

Dessa forma, um modelo metodológico que pretenda ser eficaz na prevenção dos riscos ocupacionais, na melhoria dos ambientes e das condições de trabalho, visando à promoção da segurança e saúde no trabalho, deve se pautar pela necessidade de incorporação efetiva dos trabalhadores como atores desse processo. Nesta perspectiva, através da aplicação da *clínica da psicodinâmica do trabalho* no canteiro de obras, observou-se entre os operários que além de reconhecer a importância da técnica e do conhecimento científico, valorizar, outrossim, a participação dos trabalhadores nas questões relacionadas à segurança e saúde no trabalho, a partir do reconhecimento dos seus saberes, de suas experiências e de suas vivências subjetivas pode promover um ambiente com uma melhor qualidade de vida do trabalhador (QVT) e assim, diminuir os acidentes de trabalho, promovendo um eficaz gerenciamento.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Instituto Federal de Brasília – Campus Samambaia, pela liberação da docente para dedicação exclusiva a esta pesquisa de doutoramento e a empresa New Inc. Construtora e Incorporadora que permitiu a realização do Projeto Piloto de pesquisa em um de seus canteiros de obra.

REFERÊNCIAS

- [1] BATISTA, Vera. **Canpat: construção civil está entre os setores com maior risco de acidentes de trabalho**. Publicado em 26/04/2019. Disponível em: <http://blogs.correiobraziliense.com.br/servidor/canpatconstrucao-civil-esta-entre-os-setores-com-maior-risco-de-acidentes-de-trabalho/>. Acesso em: 02/05/2019.
- [2] DEJOURS, C. (2015). Organização do trabalho e saúde mental: Quais são as responsabilidades do manager? In K. B. Macêdo (Ed.), *O diálogo que transforma: A clínica psicodinâmica do trabalho* (pp. 223-233). PUC Goiás.
- [3] BARUKI, L. V. **Riscos psicossociais e saúde mental do trabalhador**: por um regime jurídico preventivo. São Paulo: LTr, 2015.
- [4] MESQUITA, S. M. M.; SANTOS, C. M.; MACHADO, L.S.; RAMOS, L. F. C.; MACÊDO, K. B. Ergonomia, Psicodinâmica e Riscos. In: ECOS - Estudos Contemporâneos da Subjetividade. Volume 6, Número 1, ano 2016. Portal de Periódicos de Ciências Humanas e Filosofia da Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <http://www.periodicoshumanas.uff.br/ecos/article/viewFile/1823/1292>. Acesso em: 12.02.2019.
- [5] BRASIL. **NR-9 - Avaliação e Controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos**. Brasília: Ministério do Trabalho e Previdência, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt->

br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-09-atualizada-2021-com-anexos-vibra-e-calor.pdf. Acesso em: 02/10/2021.

[6] BRASIL. **NR 18 - Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção**. Brasília. Ministério do Trabalho e Previdência, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-18-atualizada-2020-1.pdf>. Acesso em: 05/02/2022.

[7] BRASIL. **NR 01- Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais**. Brasília: Ministério do Trabalho e Previdência, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-01-atualizada-2020.pdf>. Acesso em: 05/02/2022.

[8] BRASIL. **NR 17 – Ergonomia**. Brasília: Ministério do Trabalho e Previdência, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-17-atualizada-2021.pdf>. Acesso em: 05/02/2022.

[9] ANTUNES, R. **O privilégio da servidão: O novo proletariado de serviço na era digital**. Boitempo Editorial. 2018.

[10] BOUFFARTIGUE, P. (2012). **Les risques psychosociaux. Quels enjeux de démocratie et de justice au travail?** [Conference presentation]. Second forum de l'Association Internationale de Sociologie, Buenos Aires. Disponível em: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00726017>. Acesso em: 05/02/2022.

[11] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO. **Riesgos emergentes y nuevos modelos de prevención en un mundo de trabajo en t r a n s f o r m a c i ó n - 2010**. Disponível em: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/ed_protect/protrav/safework/documents/publication/wcms_124341.pdf. Acesso em: 12/02/2019.

[12] OSHA. Observatorio Europeo de Riesgos, Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. **New and emerging risks in occupational safety and health**. Dez de 2009a. Disponível em: http://osha.europa.eu/en/publications/outlook/en_te8108475enc.pdf. Acesso em: 26/02/2019.

[13] MESQUITA, S. M. M.; SANTOS, C. M.; MACHADO, L.S.; RAMOS, L. F. C.; MACÊDO, K. B. Ergonomia, Psicodinâmica e Riscos. **In: ECOS - Estudos Contemporâneos da Subjetividade**. Volume 6, Número 1, ano 2016. Portal de Periódicos de Ciências Humanas e Filosofia da Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <http://www.periodicoshumanas.uff.br/ecos/article/viewFile/1823/1292>. Acesso em: 12.02.2019

[14] DEJOURS, C. **Trabalho Vivo: trabalho e emancipação**. Tomo II. Tradução: Franck Soudant. Brasília: Paralelo 15, 2012.

[15] BRANDÃO, Lucas. **Christophe Dejours: psiquiatra, professor e um dos pais da psicodinâmica do trabalho**. 18 Fevereiro, 2022. Disponível em: <https://comunidadeculturaearte.com/christophe-dejours-psiquiatra-professor-e-um-dos-pais-da-psicodinamica-do-trabalho/> Acesso em: 02.06.2022.

[16] AZEVEDO, A.; LOBO, F. Prazer e sofrimento no trabalho. **In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PSICOLOGIA DO TRABALHO E DAS ORGANIZAÇÕES**, 1., 2012, Braga. Anais... Braga: Universidade Católica Portuguesa, 2013. p. 163-176.

[17] DEJOURS, C. (1992). **A loucura do trabalho: Estudos de psicopatologia do trabalho** (5ª ed.). Cortez-Oboré. (Original published in 1980)

[18] LOUZADA, R. S. M. L.; OLIVEIRA, P. T. R. **Reflexões sobre a metodologia de pesquisa em psicodinâmica do trabalho**. Rev. NUFEN [online]. 2013, vol.5, n.1, pp. 26-35. ISSN 2175-2591.

[19] BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **Normas Regulamentadoras**. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: XX

[20] RODRIGUES, C. M. L.; FAIAD, C., FACAS, E.P. (2020). **Fatores de Risco e Riscos Psicossociais no Trabalho: Definição e Implicações**. Psicologia: Teoria e Pesquisa, 36(Especial). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102.3772e36nspe19>. Acesso em: 02.06.2022.

[21] CRU, D. **As regras do ofício**. AOCIP, Paris, mimeo, 1987.

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO

ACESSIBILIDADE EM ESPAÇOS PÚBLICOS: UMA ANÁLISE DA PRAÇA DOS TRÊS PODERES LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE GOIANÉSIA DO PARÁ

COSTA, Taiane¹; ARAÚJO, Alyne²; SOUZA, Grazielle³ BORILLE, Sueda⁴

¹ Universidade Federal do Pará, Goianésia do Pará, Brasil, taiane.costa@tucurui.ufpa.br, <https://orcid.org/0000-0001-5255-0205>

² Universidade Federal do Pará, Goianésia do Pará, Brasil, alyne.araujo@tucurui.ufpa.br, <https://orcid.org/0000-0003-3604-3646>

³ Universidade Federal do Pará, Tucuruí, Brasil, grazielle.tigre@tucurui.ufpa.br, <https://orcid.org/0000-0002-1851-6051>

⁴ Universidade Federal do Pará, Goianésia do Pará, Brasil, sueda.borille@tucurui.ufpa.br, <https://orcid.org/0000-0003-1214-7299>

RESUMO

A acessibilidade das praças e parques está completamente ligada ao bem-estar das pessoas e à facilidade com que elas podem se deslocar nesses ambientes. Dessa forma, este artigo propõe uma análise dos aspectos que influenciam a mobilidade dos usuários da principal praça pública do município de Goianésia do Pará, interior do estado do Pará. Para isso foi realizada uma análise visual do espaço a partir de uma visita *in loco*. A coleta de dados foi desenvolvida através de um *checklist* elaborado a partir de um conjunto de critérios de avaliação de acessibilidade pré-estabelecidos, baseado nos parâmetros da norma NBR 9050/2020 [5]. Foram analisados 55 itens referentes aos aspectos: acessos e estacionamentos; pavimentação; área de circulação; bancos; áreas de comércio; banheiros e sanitários. Os resultados desta pesquisa apontaram que 84% dos itens analisados não seguem os parâmetros e as indicações da norma e apenas 16% atendem às especificações. Com base nos resultados pôde-se concluir que em partes, a praça não se enquadra nos critérios referentes à mobilidade necessária para satisfazer os usuários com deficiência ou mobilidade reduzida.

Palavras-chave: Acessibilidade; Praça pública; Usuário.

ABSTRACT

The accessibility of squares and parks is completely linked to people's well-being and the ease with which they can move around in these environments. Based on this statement, this article proposes an analysis of some of the aspects that influence the mobility of users of the main public square in the municipality of Goianésia of Pará, in the interior of the state of Pará. For this, a visual analysis of the space was carried out from an on-site visit and data collection was developed through a checklist elaborated from a set of pre-established accessibility evaluation criteria, based on the parameters of the NBR 9050/ 2020 [2] and the principles of Universal Design. Fifty-five items were analyzed referring to the following aspects: access and parking; paving; circulation area; banks; trade areas; bathrooms and toilets. The results of this research showed that 84% of the analyzed items do not follow the parameters and indications of the standard and only 16% meet the specifications. Based on the results, it was possible to conclude that in parts, the square does not fit the criteria regarding the necessary mobility to satisfy users with disabilities or reduced mobility.

Keywords: Accessibility; Public square; User.

1. INTRODUÇÃO

As áreas destinadas ao lazer proporcionam inúmeros benefícios essenciais à qualidade de vida da população urbana, de acordo com Silva *et al.* [1] o ambiente de lazer pode ser um local propício à qualidade de vida, socialização e saúde. Nesse contexto, as praças públicas são características fundamentais das cidades, por isso é necessário reconhecê-las como áreas sociais que possibilitam o contato entre diferentes grupos.

No entanto, a capacidade que as áreas públicas de lazer, como as praças, têm de fornecer benefícios à população urbana depende de fatores que envolvem a infraestrutura adequada para que todos possam usufruir de seus benefícios. Portanto, fornecer espaços acessíveis deve ser uma tarefa prioritária para as autoridades e planejadores da cidade.

A expansão urbana influenciou a criação de políticas públicas que atendam às necessidades da sociedade. A Constituição Federal Brasileira de 1988 [2] assegura a todos o direito de viver com dignidade, o lazer está elencado na Constituição dentre os principais direitos do cidadão. No entanto, percebe-se ainda que para algumas minorias como as pessoas com deficiência, idosos e pessoas de classes menos favorecidas, o acesso a esse direito torna-se difícil e distante do gozo de pleno direito.

Em 2000, foi lançada a Lei Nº 10.098 [3], a primeira totalmente voltada à acessibilidade. Tendo como objetivo quebrar barreiras no dia a dia, sejam elas urbanas, arquitetônicas, nos transportes ou na comunicação. Assegurando assim, a autonomia das pessoas com deficiência e oportunidade para todos, Praxedes e Gurgel [4].

Criada em 1985 e regida pela ABNT, a NBR 9050 [5] que teve sua última atualização feita em 2020 estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano e rural, e de edificações às condições de acessibilidade. Esta Norma visa proporcionar a utilização de maneira autônoma, independente e segura do ambiente, edificações, mobiliário, equipamentos urbanos e elementos à maior quantidade possível de pessoas, independentemente de idade, estatura, limitação de mobilidade ou percepção.

No que tange a criação das políticas públicas, Almeida, Nunes e Zoboli [6] afirmam que apesar de existirem leis específicas que garantem o acesso das Pessoas com Deficiência a espaços públicos de lazer, o descumprimento destas leis ainda é um grande empecilho que exclui o deficiente de desfrutar desses espaços, não basta ter uma praça em um bom estado de conservação se existe a exclusão social impedindo que todos possam se beneficiar do espaço público disponível.

Diante disso, este estudo teve como objetivo realizar uma análise das condições de acessibilidade da Praça dos Três Poderes, localizada no município de Goianésia do Pará. Buscando verificar, elencar, esclarecer e citar as dificuldades encontradas no contexto e o nível em que se encontrava a situação desse espaço em face das exigências de um mundo diversificado para que todos os grupos de pessoas possam circular sem restrições ou barreiras que as impeçam de realizar seus percursos, bem como as adequações a NBR 9050/2020 [5], e a partir disso propor considerações que possam viabilizar essas pessoas a usufruir de seus direitos de acesso ao lazer.

2. MÉTODOS DE PESQUISA

A pesquisa realizada possui natureza qualitativa, que para Gil [7], o uso dessa abordagem propicia o aprofundamento da investigação das questões relacionadas ao fenômeno em estudo e das suas relações, mediante a máxima valorização do contato direto com a situação estudada. Quanto aos objetivos, possui natureza descritiva. Esse tipo de pesquisa, segundo Lakatos e Marconi [8], busca descrever um fenômeno ou situação em detalhe, especialmente o que está ocorrendo, permitindo abranger, com exatidão as características de um indivíduo, uma situação, ou um grupo, bem como desvendar a relação entre os eventos. A pesquisa ainda se classifica como Estudo de Caso, que segundo Yin [9], é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo dos fatos objetos de investigação, permitindo um amplo e pormenorizado conhecimento da realidade e dos fenômenos pesquisados. As etapas que compõem a pesquisa estão estruturadas conforme a Figura 1:

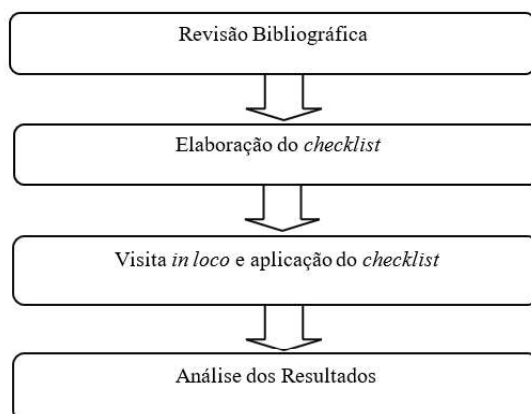


Figura 1 – Etapas do estudo

O método utilizado para a realização das análises foi a observação e a investigação *in loco*, com o objetivo de verificar o uso da praça pública de acordo com os seguintes critérios: acessos e estacionamento, pavimentação, área de circulação, bancos, áreas de comércio, banheiros e sanitários; visando a partir das verificações dos dados obtidos, identificar as dificuldades da comunidade no uso do bem público e verificação de conformidade às normas técnicas.

A coleta de dados se deu com a aplicação de um *checklist* desenvolvido a partir de um conjunto de critérios de avaliação de acessibilidade pré-estabelecidos, com base nos princípios do Desenho Universal (Cambiaghi, [10]; Gomes e Emmel, [11]; Feitosa e Righi [12]), tendo como parâmetros a norma NBR 9050/2020 [5].

2.1 Estudo de Caso

A Praça dos Três Poderes está localizada no município de Goianésia do Pará, situado a uma latitude 03°50'33" sul e a uma longitude 49°05'49" a oeste, no sudeste do Pará, a 378 km por via terrestre de Belém, capital do estado. As rodovias PA 150, PA 263 e PA 475 são os meios de acesso ao município, sendo que a PA 150 corta o centro da cidade. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) [13], o município possui uma população estimada para 2020 de 41.081 mil habitantes com área territorial de 7.023,941 Km². De acordo com censo de 2010, Goianésia do Pará possuía 8.398 deficientes, desses, 7.068 o equivalente à 84,1% tinham deficiência visual ou motora. Esses dados revelam que 23,2% da população do município necessitava de acessibilidade por conta de suas limitações.

De acordo com dados da Prefeitura Municipal [14], a formação urbana de Goianésia do Pará deve-se principalmente à construção da PA – 150, que dividiu o local, dando origem às margens direita e esquerda, dessa forma, os bairros começaram a surgir às margens da rodovia. Porém, o crescimento demográfico se deu à revelia de um planejamento urbano, ou seja, as construções habitacionais eram erguidas mesmo sem um acompanhamento técnico esboçado dentro de uma lógica urbanística. O que fica perceptível ainda hoje em alguns bairros pioneiros do lugar.

Conforme o Plano Diretor Municipal [15], o desenvolvimento da cidade não se configurou um sistema integrado de áreas livres de uso público – praças, ruas arborizadas, áreas de proteção e parques. Algumas quadras foram reservadas para praças ou para equipamentos educacionais, de saúde ou outros serviços públicos.

De acordo com a Secretaria de Estado de Turismo, SETUR – PA [16], a Praça dos Três Poderes é a principal praça da cidade, localizada no centro do município, fica próxima a sede da prefeitura, ao lado de uma escola pública municipal e próxima aos principais restaurantes e bares da cidade. É uma praça ampla, com quiosques de alimentação, quadra poliesportiva, rampa de skate, área de recreação infantil, bancos e jardins. O espaço é muito frequentado pelos moradores nos fins de tarde e à noite. Presume-se que de segunda à sexta-feira, em média 150 pessoas frequentem a praça por dia, já aos finais de semana esse índice é de aproximadamente 500 frequentadores por dia. A Figura 2 mostra a disposição da praça no centro urbano de Goianésia do Pará, no qual é possível notar que a praça se localiza próxima a vários equipamentos públicos, bem como do comércio.



Figura 2 – Centro Urbano (Adaptada do Plano Diretor Municipal [15])

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na visita e observações realizadas *in loco*, os quais foram realizados no dia 06 de junho de 2022, foi possível elaborar e aplicar o *checklist* com os itens da norma, bem como analisar visualmente as condições de acessibilidade do local.

3.1 Acessos e Estacionamentos

Um dos principais problemas encontrados na praça pública é a escassez de rampas de acesso, considerando que o espaço possui um nível elevado em relação as vias no entorno. Na Figura 3 pode ser observado o único acesso rebaixado que a praça de 18.000 m² possui. A falta desse recurso em maiores quantidades dificulta a utilização do local por usuários com mobilidade reduzida e deficientes físicos.



Figura 3 – Acesso rebaixado

Os estacionamentos estão localizados em torno do espaço público (com exceção do lado leste, que é utilizado como área de alimentação). São espaços sem delimitação como apresentado na Figura 4, não há faixa de circulação de pedestre que garanta um trajeto seguro, não há sinalização ou reserva de vagas para prioridades.



Figura 4 - Acessos e estacionamentos

O Quadro 1 apresenta parte do *checklist* que foi aplicado para descrever os principais aspectos da praça e comparar com a NBR 9050/2020 [5], para assim entender o quanto o espaço público em questão está adequado à acessibilidade.

De acordo com a análise de 10 itens do *checklist* referentes aos acessos e estacionamentos do local, apenas 2 itens estão em conformidade com a norma, evidenciando a falta de acessibilidade nessas áreas. Como medidas mitigadoras sugere-se demarcar o estacionamento e utilizar sinalização vertical e horizontal para indicação de vagas prioritárias, além de criar acessos rebaixados para facilitar o deslocamento das pessoas.

| NBR 9050/2020 | | 1. Acessos e estacionamentos | Sim | Não |
|---------------|----|--|-----|-----|
| 6.12.1 | a) | A inclinação transversal da faixa livre (passeio) das calçadas ou das vias exclusivas de pedestres não é superior a 3%? | | X |
| 6.12.2 | b) | A inclinação longitudinal da faixa livre (passeio) das calçadas ou das vias exclusivas de pedestres acompanha a inclinação das vias lindeiras? | | X |
| 6.12.3 | c) | As faixas livres ou passeios são livres de qualquer obstáculo, possuem inclinação transversal de até 3%, com as dimensões mínimas de 1,20 m de largura e 2,10 m de altura livre? | X | |
| 6.12.7.3 | d) | A inclinação é menor que 8,33% no sentido longitudinal da rampa central e nas abas laterais? | | |
| 6.13 | e) | As passarelas de pedestres são promovidas de rampas, ou rampas e escadas, ou rampas e elevadores, ou escadas e elevadores para transposição dos usuários? | | X |
| 6.14 | f) | O estacionamento dispõe das vagas destinadas para veículos que conduzam ou sejam conduzidos por idosos/pessoas com deficiência? | | X |
| 6.14.1 | g) | A sinalização vertical das vagas reservadas estão posicionadas de maneira a não interferir com as áreas de acesso ao veículo, e na circulação dos pedestres? | X | |
| 6.14.2 | h) | O estacionamento possui uma faixa de circulação de pedestres que propicia um trajeto seguro e com largura mínima de 1,20 m até o local de interesse? | | X |
| 6.14.3 | i) | É respeitada a previsão de vagas reservadas para pessoas idosas e com deficiência? | | X |
| 8.2.1 | j) | No espaço há pontos de embarque e desembarque de transporte público com faixa livre na calçada? | | X |
| 8.2.2 | k) | No espaço há semáforo de pedestres? | | X |

Quadro 1 - Aplicação do *checklist* nos acessos e estacionamentos do local

3.5 Pavimentação

Segundo a NBR 9050/2020 [5], os materiais utilizados no acabamento e revestimento das praças necessitam ter a superfície regular, firme, estável, não trepidante para dispositivos com rodas e devem ser antiderrapantes diante de

qualquer condição. Na Figura 5 é possível observar o estado de conservação da pavimentação da praça, que se encontrava em situação irregular, evidenciando a falta de manutenção. A pavimentação é composta inteiramente por piso de concreto intertravado, não possui sinalização visual ou tátil e não se encontra nivelado, dificultando a movimentação de pessoas com capacidade de mobilidade reduzida e causando desconforto aos usuários do ambiente. As medidas mitigadoras para essa situação devem partir da substituição do piso atual por outro que atenda as especificações da norma e proporcione conforto e segurança, também deve ser instalado piso tátil de alerta e orientação para auxiliar no deslocamento das pessoas com deficiência visual ou baixa visão.



Figura 5 - Pavimento da praça pública em concreto intertravado

Outro problema encontrado são as caixas de inspeção localizadas na área de circulação, tornando-se obstáculos para a mobilidade dos usuários, uma vez que essas, se encontram em péssimas condições de conservação e apresentam riscos à população como apresentado na Figura 6. Como medida de melhoria para esse problema, deve-se fazer a substituição das tampas danificadas por outras de superfície nivelada com o piso adjacente.



Figura 6 - Estado de conservação das caixas de inspeção

Com base nas análises da praça em relação aos aspectos da pavimentação, pôde-se constatar que dos 5 itens da norma analisados, conforme mostra o Quadro 2, 100% destes não fazem parte da composição da estrutura da praça que sobre esse aspecto é inadequada.

| NBR 9050/2020 | | 2. Pavimentos | Sim | Não |
|---------------|----|--|-----|-----|
| 6.3.2 | a) | Os materiais de revestimento e acabamento possuem superfície regular, firme, estável, não trepidante para dispositivos com rodas e antiderrapantes, qualquer condição (seco ou molhado)? | | x |
| 6.3.3 | b) | A inclinação transversal da superfície respeita o limite de 2% sendo que a inclinação longitudinal da superfície é inferior à 5%? | | x |
| 6.3.4 | c) | Os desníveis obedecem os requisitos estipulados neste item da norma? | | x |
| 6.3.5 | d) | As grelhas e juntas de dilatação estão fora do fluxo principal de circulação além de estarem em acordo com este item da norma? | | x |
| 6.3.8 | e) | O piso dispõe de sinalização visual e tátil? | | x |

Quadro 2 - Aplicação do *checklist* na pavimentação do local

3.2 Área de Circulação

A área de circulação é um espaço significativamente amplo, considerando as distâncias entre os elementos que compõem o ambiente, como mostra a Figura 7. As áreas para circulação mais estreitas da praça possuem dimensões mínima de 1,20m como indicado pela norma para o deslocamento em linha reta de pessoas em cadeiras de rodas, como apresenta a Figura 8.



Figura 7 - Área de circulação da praça pública



Figura 8 - Área de circulação padronizada

Ao comparar os resultados obtidos na visita *in loco* com o *checklist*, onde, dos 11 itens da norma analisados referentes à área de circulação, apenas 2 são divergentes, o que significa que 78% da área está de acordo com o que rege a norma, como mostra o Quadro 3.

| NBR 9050/2020 | | 3. Circulação | Sim | Não |
|---------------|----|---|-----|-----|
| 4.2.1 | a) | As áreas de circulação obedecem à largura mínima de 1,00 m? | x | |
| 4.2.2 | b) | As áreas de circulação obedecem as dimensões mínimas para o módulo de referência (0,80 m por 1,20 m)? | x | |
| 4.3.1 | c) | As áreas de circulação obedecem as dimensões mínimas indicadas para o deslocamento em linha reta de pessoas em cadeiras de rodas? (1,20 m à 1,50 m)? | x | |
| 4.3.2 | d) | As áreas de circulação obedecem as larguras para a transposição de obstáculos isolados (0,80 m)? | x | |
| 4.3.4 | e) | As áreas de circulação obedecem as indicações mínimas indicadas para a realização de manobra em cadeiras de rodas sem deslocamento? | x | |
| 4.3.5 | f) | As áreas de circulação obedecem as indicações mínimas indicadas para a realização de manobras em cadeiras de rodas com deslocamento? | x | |
| 4.3.7 | g) | As áreas de circulação possuem proteção contra queda ao longo das áreas de circulação? | | x |
| 8.6.1 | h) | As lixeiras e contenedores para reciclados estão localizados fora das faixas de circulação? | x | |
| 8.6.2 | i) | No espaço é garantida a aproximação acessível de pessoa em cadeira de rodas e altura que permita o alcance manual do maior número de pessoas? | | x |
| 8.8.1 | j) | Se o espaço possuir plantio e manejo da vegetação é garantido que os elementos naturais e suas projeções não interfiram na rotas acessíveis e áreas de circulação de pedestres? | x | |
| 8.8.2 | k) | Nas áreas adjacentes às rotas acessíveis e áreas de circulação de pedestres, a vegetação não possui espinhos, raízes e princípios tóxicos perigosos? | x | |

Quadro 3 - Aplicação do *checklist* nas áreas de circulação

3.3 Bancos

Os bancos da praça Três poderes são de madeira e fixos no piso intertravado. Uma grande parcela dos bancos está em situação de deterioração, inviabilizando o seu uso. De acordo com a NBR 9050/2020 [5], deve ser garantido ao lado do acento fixo um módulo de referência de modo que não interfira com a faixa livre de circulação, como ilustrado na Figura 9. Porém, a maioria dos bancos da praça em análise estão dispostos de maneira que impossibilita o módulo de referência, como apresentado na Figura 10.

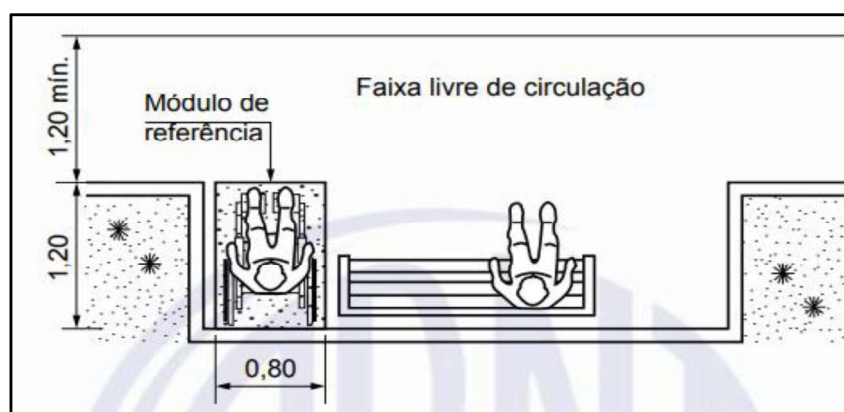


Figura 9 - Módulo de referência



Figura 10 - Banco da praça

De acordo com os dados obtidos na visita e o resultado do *checklist*, foi observado que os bancos da praça não atendem às especificações da norma pois, dos 3 itens analisados, todos foram considerados incompatíveis com a NBR 9050/2020 [5], como mostra o Quadro 4. Desse modo, as medidas mitigadoras a serem tomadas para esse problema devem ser voltadas para a revitalização dos bancos e implantação do módulo de referência, promovendo assim a inclusão do cadeirante nesse espaço.

| NBR 9050/2020 | | 4. Bancos | Sim | Não |
|---------------|----|---|-----|-----|
| 8.1 | a) | Os bancos da praça pública atende aos princípios do desenho universal, conforme conceitos abordados no Anexo A desta norma? | | x |
| 8.9.2 | b) | Os assentos são implantados sobre superfície nivelada com o piso adjacente? | | x |
| 8.9.3 | c) | É garantido o espaço do módulo de referência ao lado dos assentos fixos, sem interferir na faixa de circulação? | | x |

Quadro 4- Aplicação do *checklist* nos bancos

3.3 Área de Comércio

Conforme ilustrado na Figura 11, a área de alimentação da praça não segue os critérios determinados pela norma NBR 9050/2020 [5] a qual estabelece que 5 % do total de mesas necessita ser acessível à pessoa em cadeira de rodas, deve haver ao menos um cardápio em braile e existir rotas acessíveis ou espaço para movimentação. Na Figura 12 pode-se observar que boa parte dos estabelecimentos são de difícil acesso, impedindo a utilização da área por usuários com deficiência física ou mobilidade reduzida.



Figura 11 - Área de alimentação



Figura 12 - Acesso à área de alimentação

Referente às áreas de comércio foram analisados 5 itens da norma, como mostra o Quadro 5, onde todos foram classificados como "NÃO", isto é, não atenderam às considerações das diretrizes indicadas pela NBR 9050/2020 [5]. Como medidas mitigadoras, deve-se adaptar o espaço de acordo com as orientações da norma regulamentadora, criando assim entradas acessíveis, espaço para manobra e acomodação da pessoa em cadeira de rodas, além de inserir cardápios em braille em todos os estabelecimentos.

| NBR 9050/2020 | | 5. Área de comércio | Sim | Não |
|---------------|----|---|-----|-----|
| 10.8.1 | a) | Os restaurantes, refeitórios e bares possuem pelo menos 5% do total de mesas (com no mínimo uma) acessíveis à pessoa em cadeira de rodas? | | x |
| 10.8.2 | b) | As mesas estão distribuídas de modo à integra-las com as demais e em locais onde sejam oferecidos todos os serviços e comodidades disponíveis no estabelecimento? | | x |
| 10.8.2.3 | c) | Os locais de comércio que possuem cardápio dispõem de pelo menos um exemplar em braille e em textos com caracteres ampliados? | | x |
| 10.17 | d) | Os locais de comércio dispõem de pelo menos uma entrada acessível? | | x |
| 10.17.3 | e) | Os locais de comércio possuem pelo menos 5% das caixas de pagamento, com no mínimo uma do total de caixas do local? | | x |

Quadro 5 - Aplicação do *checklist* nas áreas de comércio

3.4 Banheiros

Os banheiros e sanitários do espaço público não obedecem a nenhum dos parâmetros de acessibilidade estipulados pela NBR 9050/2020 [5], em concordância com a análise da Figura 13, é possível observar que os mesmo não são planejados para uso de pessoas com quaisquer limitações físicas, destacando o dimensionamento das esquadrias, a carência de sanitários adequados e barras de apoio, além das características do piso e desnível que não se enquadram nos padrões de acessibilidade, conforto e autonomia para usuários. A Figura 14 ilustra o único banheiro acessível à cadeirantes que o local possui, no entanto encontra-se desativado e atualmente é utilizado como depósito de elementos de um dos quiosques da praça municipal de Goianésia do Pará.



Figura 13 - Acessórios sanitários dos banheiros da praça



Figura 14 - Banheiro desativado

Com relação ao aspecto de acessibilidade dos banheiros da praça, foram analisados 18 itens da norma, conforme mostra o Quadro 6. Os resultados apontaram que os banheiros do local estão totalmente fora da norma, pois não seguem os padrões de acessibilidade impostos para garantir a segurança e autonomia dos usuários desses espaços. Como solução para o problema, o banheiro deve passar por uma reforma que trabalhe o nivelamento e adequação do piso, instalação de bacia sanitária apropriada e barras de apoio, conforme orientações da norma.

| NBR 9050/2020 | | 6. Banheiros | Sim | Não |
|---------------|----|--|-----|-----|
| 7.1 | a) | Os banheiros, sanitários e vestiários obedecem os parâmetros referentes as quantidades mínimas necessárias, localização, posicionamento e características das peças, acessórios barras de apoio, comandos e características de pisos e desnível? | | x |
| 7.3.1 | b) | Os banheiros, sanitários e vestiários são acessíveis e localizam-se em rotas acessíveis, próximas à circulação principal? | | x |
| 7.4.3.2 | c) | O espaço público atende à quantidade mínima de 5% de peças sanitárias acessíveis, além de possuir um sanitário acessível para cada sexo junto a cada conjunto de sanitários? | | x |
| 7.5 | d) | As dimensões dos sanitários acessíveis e dos boxes acessíveis garantem o posicionamento das peças sanitárias e obedecem os parâmetros estipulados nesse item? | | x |
| 7.6 | e) | O sanitário acessível possui barra de apoio que atende as necessidades de segurança e autonomia das pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida? | | x |
| 7.7 | f) | As bacias e assentos dos sanitários acessíveis não possuem abertura frontal? | | x |
| 7.7.1 | g) | O espaço do sanitário acessível respeita as dimensões mínimas (0,80 m por 1,20 m) para a realização da transferência lateral, transferência perpendicular e transferência diagonal? | | x |
| 7.7.2.1 | h) | A altura do sanitário acessível encontra-se a uma altura entre 0,43 m e 0,45 m do piso acabado? | | x |
| 7.7.3.1 | i) | O sanitário acessível possui válvula de parede para descarga? | | x |
| 7.7.3.2 | j) | O sanitário acessível possui mecanismo de acionamento de descarga em caixa acoplada? | | x |
| 7.8 | k) | Os lavatórios dispõem de barras de apoio? | | x |
| 7.8.1 | l) | As barras de apoio dos lavatórios obedecem os parâmetros estipulados neste item da norma? | | x |
| 7.8.2 | m) | Os lavatórios são equipados com torneiras acionados por alavancas, sensores eletrônicos ou dispositivos equivalentes, que exijam esforço máximo de 23 N? | | x |
| 7.9 | n) | O espaço público possui sanitários e banheiros com trocador para crianças e adultos - Sanitário familiar? | | x |
| 7.10 | o) | O espaço público possui sanitários coletivos acessíveis para uso de pessoas com mobilidade reduzida? | | x |
| 7.10.3 | p) | Os tampos dos lavatórios garantem no mínimo uma cuba com superfície superior entre 0,78 m e 0,80 m, e livre inferior de 0,73m, além de possuir barras posicionadas? | | x |
| 7.10.4 | q) | O espaço dispõe de mictório? | | x |
| 7.11 | r) | Os banheiros dispõem de acessórios para sanitários acessíveis e coletivos? | | x |

Quadro 6 - Aplicação do *checklist* nos banheiros do espaço público

O Gráfico 1 mostra o resultado dos dados coletados no *checklist* que foi aplicado para a análise das condições de acessibilidade da praça estudada. Com esses resultados foi possível constatar que as áreas de circulação mostraram ser adequadas a NBR 9050/2020 [5], com relação a dimensão do espaço e dos itens analisados. No entanto, são negligenciadas as áreas de comércio, banheiros, bancos, pavimentação, acessos e estacionamentos, evidenciando a falta de planejamento referente ao acesso universal da população ao espaço público.

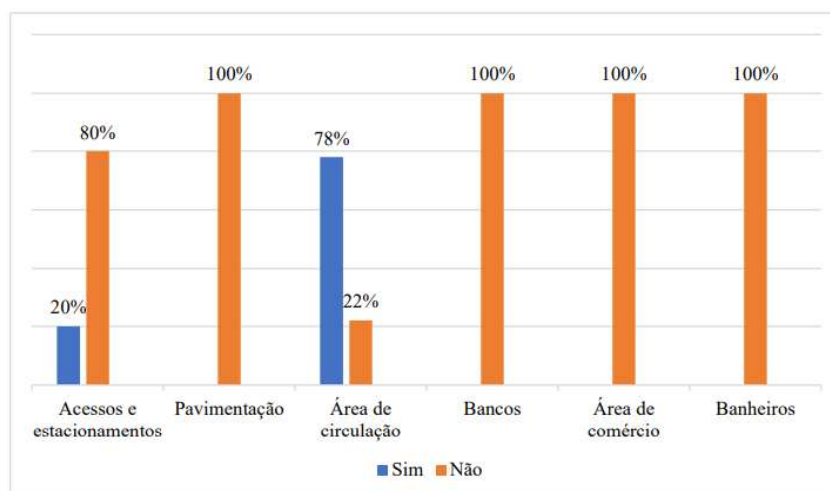


Gráfico 1 - Comparativo individual entre todos os aspectos avaliados no *checklist*

A partir da análise geral dos elementos da praça Três poderes em Goianésia do Pará, pôde-se constatar que entre os 55 itens analisados, 11 foram classificados como aderentes a norma NBR 9050/2020 [5], representando 16% dos resultados coletados. 38 itens foram considerados incompatíveis, totalizando 84%. O Gráfico 2 faz um comparativo dos valores obtidos, destacando o percentual geral dos itens avaliados.

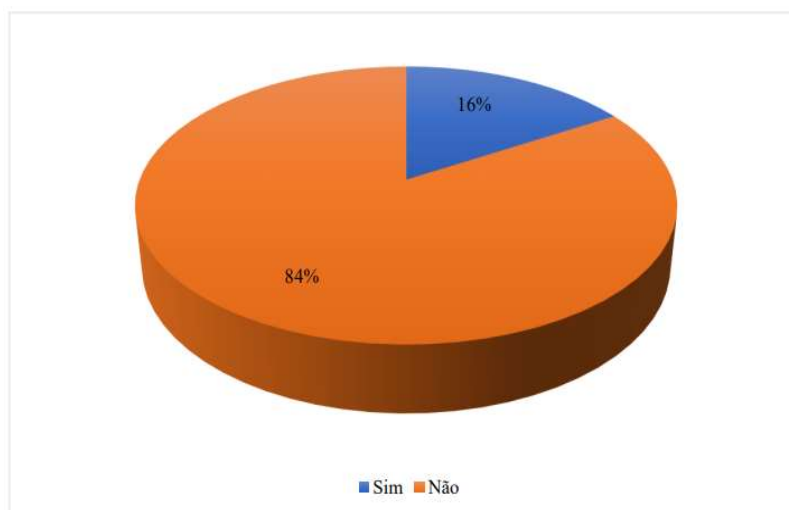


Gráfico 2 – Comparativo dos aspectos avaliados no *checklist*

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos na pesquisa foi possível concluir que a situação da praça analisada é positiva quanto a existência de rotas livres de obstáculos e espaço para manobras de cadeirantes, no entanto, a situação se inverte quando examinado os aspectos relacionados ao conforto e autonomia dos usuários.

Ao confrontar a realidade da praça com a NBR 9050/2020 [5], que estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano às condições de acessibilidade, foi constatado que 84% dos itens analisados não estão em concordância com a norma, testificando que para a construção da

praça em questão não houve a preocupação ou o planejamento quando a importância da acessibilidade para garantir a segurança e o bem-estar dos usuários.

Para que os problemas de mobilidade e acessibilidade fossem eliminados ou mitigados deveriam ser feitos projeto de adequação para a praça, levando em consideração todas as exigências feitas pela norma NBR 9050/2020 [5], como: sinalização tátil de alerta e direcional, localização adequada dos bancos, criação de rampas com inclinação correta para melhorar o trajeto a ser percorrido, garantindo assim, que a pessoa com deficiência ou mobilidade reduzida consiga locomover-se com dignidade e autonomia por esses lugares.

Porém, percebe-se que apenas ter acessibilidade na praça não basta, mas sim em todos os lugares. Principalmente no trajeto que é feito até chegar a ela. O Código de Obras de Goiânia do Pará foi elaborado em 1993, estando dessa forma defasado, além de não possuir nenhum item referente à acessibilidade. A implantação de um Código de Obras que garanta acessibilidade em edificações privadas e locais públicos seria uma forma de promover a construção de uma cidade mais acessível.

Com base nisso, faz-se necessário desenvolver outros estudos e pesquisas sobre o assunto, obtendo a participação de usuários com deficiência e mobilidade reduzida, com o objetivo de incentivar e influenciar as fiscalizações de projetos e obras para que estejam alinhados e aderentes às normas e legislações vigentes.

REFERÊNCIAS

- [1] SILVA, Emília Amélia Pinto Costa et al. **Sociedade, Cultura e Saúde: motivação na utilização de espaço público de lazer**. Revista Movimento, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 171-188, 2012.
- [2] BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Promulgada em 5 de outubro de 1988. São Paulo: Saraiva, 2018.
- [3] BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. **Lei nº 10.098**, 10 de dezembro de 2000. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2000/lei-10098-19-dezembro-2000-377651-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 16 mai. 2022.
- [4] PRAXEDES, T. T.; GURGEL, M. T. **Estado de Preservação e Acessibilidade em Praças Públicas do bairro Santa Delmira em Mossoró-RN**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural Do Semiárido -UFERSA. Mossoró, RS. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/6565/1/ThalesTP_ART.pdf>. Acesso em: 16 maio. 2022.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2020.
- [6] ALMEIDA, K. R.; NUNES, P. M. S., ZOBOLI, F. **Acessibilidade e Possibilidades de lazer para a pessoas com deficiência: Considerações a partir da Orla de Atalaia -Aracaju/se**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://educonse.com.br/2011/cdroom/eixo%201/PDF/Microsoft%20Word%20%20ACESSIBILIDADE%20E%20POSSIBILIDADES%20DE%20LAZER.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2022.
- [7] GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- [8] LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos metodologia científica**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2001
- [9] YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- [10] CAMBIAGHI, Silvana. **Desenho Universal: métodos e técnicas para arquitetos e urbanistas**. São Paulo: Editora Senac, 2007.

- [11] GOMES, L.; EMMEL, M. L. G. **Análise dos conteúdos sobre acessibilidade e desenho universal nos cursos de graduação em arquitetura e terapia ocupacional no Brasil.** Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional, v. 28, p. 164–186, 20 mar. 2020.
- [12] FEITOSA, L. S. R.; RIGHI, R. **Acessibilidade Arquitetônica e Desenho Universal no Mundo e Brasil.** Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 04, n. 28, 2016, pp. 15-31.
- [13] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/goianesia-do-para.html>> Acesso em: 10 de Mai. de 2022.
- [14] GOIANÉSIA DO PARÁ. **História.** 2022. Disponível em: < <https://goianesia.pa.gov.br/o-municipio/historia/> > Acesso em: 02 jun. 2022.
- [15] GOIANÉSIA DO PARÁ. **Plano Diretor do município de Goianésia do Pará.** Goianésia do Pará. 2006. Disponível em: < https://sapl.goianesiadopara.pa.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2006/318/318_texto_integral.pdf> Acesso em: 02 jun. 2022.
- [16] SECRETARIA DE ESTADO DE TURISMO (SETUR). **Inventário Turístico, Goianésia do Pará.** 2014. Disponível em: < http://www.setur.pa.gov.br/sites/default/files/goianesia_do_para_2014.pdf> Acesso em: 10 de Mai. de 2022.

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS E FERRAMENTAS *LEAN CONSTRUCTION* NA EXECUÇÃO DE OBRAS CIVIS

TEXEIRA, Karla¹; FONTENELE, Alexandre²; GOMES, Isabelle³; PONTE, Amanda⁴; SILVA, Luís⁵

¹ Uninta, Sobral, Brasil, karlarayane.kr.kr@gmail.com, 0000-0003-4385-3575

²Uninta, Sobral, Brasil, alexandre_diasf@hotmail.com

³Uninta, Sobral, Brasil, isabele2466@gmail.com

⁴Uninta, Sobral, Brasil, amandarayzane@hotmail.com

⁵Uninta, Itapipoca, Brasil, anderson_engcivil@yahoo.com.br

RESUMO

A utilização da metodologia *Lean Construction* nos canteiros de obras tem sido uma solução importante para o aprimoramento da gestão e da produção de diversas empresas da construção civil, tendo em vista que proporciona um aumento de produtividade e mitiga a ocorrência de desperdícios. Dessa forma, a pesquisa empreendida tem por objetivo avaliar a aplicação dos princípios da metodologia *Lean Construction* e a utilização de suas ferramentas nos processos produtivos de canteiros de obras. Para isso, foi empregada uma pesquisa bibliográfica afim de obter o conhecimento acerca dos principais conceitos da produção enxuta, bem como das ferramentas que proporcionam a implantação desses conceitos. Sendo assim, a pesquisa mostra-se relevante como uma forma de conscientização, para as empresas do setor da construção civil, pois, diante dos inúmeros benefícios inerentes à implantação da filosofia da construção enxuta, a sua utilização mostra-se necessária para que se possa vislumbrar melhores resultados dentro do processo produtivo de suas obras.

Palavras-chave: Construção Civil. Lean Construction. Produtividade.

ABSTRACT

The use of Lean Construction methodology at construction sites has been an important solution for improving the management and production of several civil construction companies, considering that it provides an increase in productivity and mitigates the occurrence of waste. Thus, the research undertaken aims to evaluate the application of the principles of Lean Construction methodology and the use of its tools in the production processes of construction sites. For this, a bibliographical research was used in order to obtain knowledge about the main concepts of lean production, as well as the tools that provide the implementation of these concepts. Therefore, the research is relevant as a form of awareness for companies in the civil construction sector, because, given the numerous benefits inherent to the implementation of the lean construction philosophy, its use is necessary so that it can envision better results within the production process of their Works.

Keywords: Construction. Lean Construction. Productivity.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, no período de 2006 a 2013, a variação percentual da participação do setor da construção civil no Produto Interno Bruto (PIB) foi positiva, diferentemente do que ocorreu nos últimos anos, fato que acarretou, em 2020, no pior resultado econômico dos últimos dezessete anos, representado por uma variação percentual negativa de 4,1 % no PIB brasileiro (CBIC, 2020). Assim, tal fato mostra que a indústria da construção civil é um setor de importância estratégica

no cenário econômico nacional, haja vista que o seu desenvolvimento resulta em geração de emprego e renda, cuja consequência é um impacto direto no PIB do país.

Nessa situação, conforme Koskela (1992), a melhora na competitividade das empresas pode ser alcançada mediante a transição de um modelo de gestão, que se preocupa somente com o produto final, e é baseado em processos de conversão, culminando em resultados de baixo valor agregado, para um sistema de gestão que além de aprimorar esses processos, reduza as atividades de fluxo, tais como espera, movimentação, estoque e transporte. Tal metodologia, que consiste em uma adaptação dos princípios do sistema Toyota de produção para a construção civil, é conhecida como *Lean Construction* (construção enxuta) e sua aplicação permite reduzir desperdícios e aumentar a produtividade das obras, com foco na satisfação do cliente.

Nesse trabalho buscou-se por meio de uma revisão bibliográfica compreender a evolução histórica da produção enxuta, desde sua origem no setor automobilístico até sua utilização nos canteiros de obras. Além disso, os princípios e ferramentas utilizadas na sua implantação também foram evidenciados, haja vista que se configuram como o sustentáculo desse modelo produtivo. Dessa forma, foi possível analisar a adoção dessas novas estratégias de produção como solução a improdutividades anteriormente identificadas.

2. METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho realizou-se a compilação de pesquisa bibliográfica, abarcando diversas fontes tais como livros, artigos de periódicos acadêmicos, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso a fim de compreender a origem histórica da metodologia *Lean Construction* bem como seus conceitos, princípios e ferramentas. Dessa forma, procurou-se entender os benefícios da aplicação da filosofia da construção enxuta, que comprovam a necessidade da sua implantação para que ganhos de produtividade e otimização de recursos sejam alcançados nas obras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estrutura do Sistema Toyota de Produção

Segundo Dennis (2008), a estrutura da produção enxuta pode ser enxergada como na figura 1 abaixo.

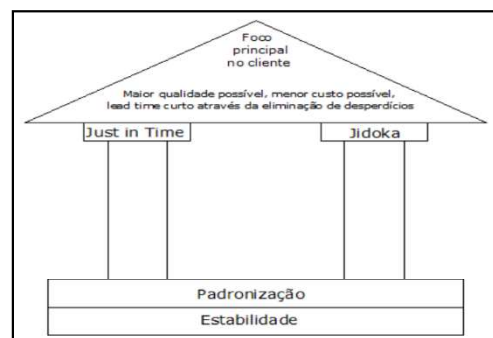


Figura 1 – Estrutura da produção *Lean* [6]

De acordo com o autor, essa estrutura pode ser assim definida: A base do sistema lean é estabilidade e padronização. As paredes são a entrega de peças e produtos just-in-time e jidoka, a automação com uma mente humana. A meta (o telhado) do sistema é o foco no cliente: entregar a mais alta qualidade para o cliente ao mais baixo custo, no lead time mais curto. O coração do sistema é o envolvimento: membros de equipe flexíveis e motivados, constantemente a procura de uma forma melhor de fazer as coisas. (DENNIS, 2008, p.37)

Tendo como base a padronização dos processos e a estabilidade de produção, é importante entender como os pilares dessa estrutura (*Just-in-time* e *Jidoka*) atuam para o cumprimento da meta do STP: entregar um produto de qualidade com baixo custo no menor tempo de espera possível (*lead time*).

3.2 Características da construção civil

A construção civil apresenta uma natureza singular quando comparada às indústrias nas quais os princípios da produção enxuta já vinham sendo aplicados. Essa singularidade traduz-se principalmente na natureza específica de cada projeto, na produção estabelecida em determinado local e em torno do produto, e na organização de diversas especialidades de caráter temporário. Ademais, outras particularidades da construção civil são a sujeição a fatores naturais, como tipos de solos e força dos ventos, por exemplo, e o relacionamento diferenciado com os clientes, que podem acompanhar o processo e interferir no resultado (KOSKELA, 1992). Ademais, Lorenzon (2008) salienta que esse setor é marcado por baixa qualidade de mão-de-obra e por elevados índices de desperdícios de materiais.

Diante disso, essas singularidades, além de diferenciar os projetos executados pela construção civil dos projetos do setor manufatureiro, podem se configurar como barreiras ao processo de aplicação da filosofia *Lean Construction* nos processos produtivos das construtoras. Portanto, conhecer essas características é fundamental no processo de adaptação do pensamento enxuto à construção civil e na aplicação dos princípios da metodologia *Lean* nos canteiros de obras.

3.3 Construção convencional e Construção enxuta

Para Koskela (1992), o modelo conceitual que domina a visão de produção é conhecido como modelo de conversão, cujo custo total é a somatória do custo individual de cada processo. Para esse modelo, o valor da produção pode ser aumentado usando melhores materiais e especialistas mais qualificados, cujos custos são mais elevados. Na construção civil, segundo Formoso (2005), o modelo de conversão consiste na transformação de insumos (materiais e informações) em produtos intermediários (alvenaria e revestimento, por exemplo) ou finais (edificação), conforme ilustra a figura 2 abaixo.

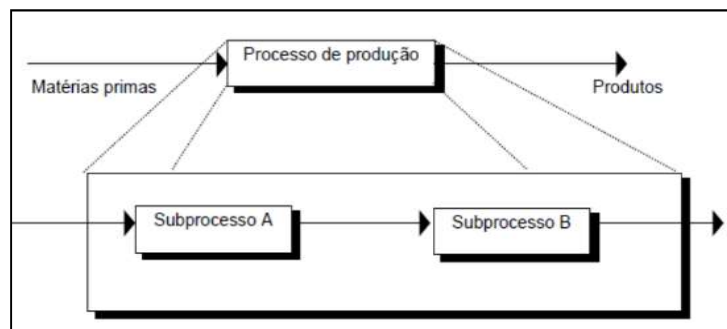


Figura 2 – Modelo de conversão [8].

Koskela (1992) considera que o sistema produtivo é composto por atividades de conversão e de fluxo. Para o autor, aquelas devem ser aperfeiçoadas e estas devem ser reduzidas a fim de que a produção seja mais eficiente. Além disso, os processos de fluxo podem ser caracterizados por tempo, custo e valor, sendo que este se refere ao cumprimento dos requisitos do cliente. A figura 3 abaixo ilustra esse modelo de produção.

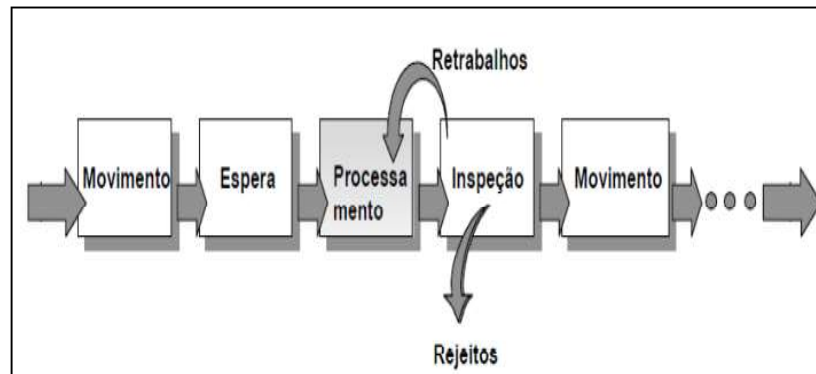


Figura 3 – Modelo de produção enxuta [10].

Conforme Howell e Ballard (1998 apud VENTURINI, 2015), devido ao fato desse modelo apresentar semelhanças à aplicação de técnicas de fabricação, muitas pessoas se opõe a sua aplicação na construção civil. Entretanto, para os autores, a sua utilização é adequada justamente porque é aplicada sobre uma visão de manufatura e alta padronização.

Outro ponto de diferenciação importante entre a produção convencional e a produção enxuta diz respeito ao modelo de gestão.

3.4 Princípios Lean Construction

- i. Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor

Esse princípio é um dos mais fundamentais da construção enxuta. Como já mencionado, há na construção civil as atividades de conversão e as atividades de fluxo. Segundo esse princípio, para que a eficiência dos processos seja melhorada bem como a redução de suas perdas, as atividades de conversão devem ser aprimoradas e as de fluxo eliminadas ou mitigadas (KOSKELA, 1992).

- ii. Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes

Segundo esse princípio, o cliente, que pode ser tanto o consumidor final ou a próxima etapa de produção, deve ter os seus requisitos atendidos como meio para geração de valor ao produto. A abordagem prática para este princípio é realizar um projeto de fluxo sistemático, onde os clientes são definidos para cada etapa e seus requisitos são analisados (KOSKELA, 1992).

- iii. Reduzir a variabilidade

Para esse princípio, o caminho para a redução de variabilidades está na padronização que, juntamente com a estabilidade, formam a base de sustentação do STP, sendo requisito necessário para a aplicação dos demais princípios. Para Koskela (1992), essa redução pode ser entendida sobre o ponto de vista do cliente, inferindo-se que um produto padronizado é mais bem aceito, e sobre o ponto de vista do tempo de execução inerente à variabilidade, que não agrega valor ao produto.

- iv. Reduzir o tempo do ciclo de produção

Na construção civil, atrasos nos prazos de entrega de obras são muito recorrentes, muitas vezes devido à ausência de um planejamento adequado. Ademais, sabe-se que muito tempo é desperdiçado com atividades não agregadoras de valor que aumentam o tempo de ciclo da produção. Koskela (1992) destaca que um ciclo de produção tem duração igual ao somatório dos períodos de tempo das etapas de processamento, inspeção, espera e movimentação, necessários para a produção de determinado produto.

- v. Simplificar através da redução do número de passos ou partes

A simplificação dos processos produtivos por meio da redução de etapas desnecessárias tem como consequência direta a mitigação de atividades que não agregam valor, fato que mostra a relação imediata com o primeiro princípio da construção

enxuta apresentado nesse trabalho. De acordo com Koskela (1992), na medida em que o número de passos de um processo é reduzido através da simplificação de suas partes, atividades como movimentação, espera e inspeção também diminuem.

vi. Aumentar a flexibilidade na execução do produto

Aumentar a flexibilidade de execução é um princípio complementar da simplificação de processos, haja vista que o projeto de produtos ou componentes modulares pode ser combinado com redução do tempo dos ciclos e maior transparência (KOSKELA, 1992).

vii. Aumentar a transparência do processo

Pouca transparência no processo incrementa propensão ao erro e diminui a motivação para melhorias. Portanto, a utilização desse princípio visa identificar problemas mais facilmente durante a execução dos serviços, possibilitando dessa forma a redução da ocorrência de erros na produção, fato que gera maior transparência aos processos (KOSKELA, 1992).

Segundo Bernardes (2003), a implantação desse princípio ocorre através do processo de planejamento e controle da produção, na medida em que se disponibilizam informações, de acordo com a necessidade de seus usuários no ambiente produtivo.

viii. Focar o controle no processo global

Consoante Koskela (1992), a produção enxuta deve levar em consideração a processo como um todo, haja vista que o controle e o planejamento focados apenas em etapas do processo podem resultar em perdas. Isatto (2000) explica que em processos de produção fragmentados, onde existem vários projetistas, empresas terceirizadas e diferentes fornecedores, o desempenho global do processo é afetado.

ix. Introduzir melhoria contínua no processo

Segundo Koskela (1992), esse princípio pode ser alcançado naturalmente a partir do cumprimento dos demais princípios, tendo em vista que a redução de desperdícios e o aumento do valor do produto devido à melhoria contínua do processo são objetivos paralelos.

x. Manter um equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões

Para Koskela (1992), no processo de produção há diferenças de potencial de melhoria em conversões e fluxos. Em geral, quanto maior a complexidade do processo de produção, maior é o impacto das melhorias e quanto maiores os desperdícios inerentes ao processo de produção, mais proveitosos os benefícios nas melhoras do fluxo, em comparação com as melhorias na conversão.

Isatto et al. (2000) sugerem, para a aplicação deste princípio, uma consciência por parte da gerência de produção de que é necessário atuar em ambas as frentes. Primeiramente, eliminar perdas nas atividades de transporte, inspeção e estoque de um determinado processo e, apenas posteriormente, avaliar a possibilidade de introduzir uma inovação tecnológica.

xi. Referenciais de ponta (Benchmarking)

Consistem em um processo de aprendizado, a partir das práticas adotadas em outras empresas, tipicamente consideradas líderes, num determinado segmento ou aspectos específicos (ISATTO et al., 2000).

Os mesmos autores reúnem em linhas gerais, para a aplicação deste princípio: conhecer os processos próprios da empresa, identificar boas práticas em outras empresas similares, entender os princípios por trás dessas boas práticas e adaptar as boas práticas encontradas à realidade da empresa.

xii. Ferramentas Lean Construction

Existem inúmeras ferramentas que facilitam a implantação dos conceitos e princípios da construção enxuta. Abaixo serão exemplificadas algumas.

xiii. 5S

Na construção civil, o emprego do 5S permite implementar diversos conceitos da filosofia *Lean Construction*, haja vista que ele possibilita tornar o ambiente de trabalho mais limpo e transparente, eliminar atividades que não agregam valor e simplificar pela redução de passos ou partes dos processos. Porém, como especificado pelo quinto senso (*Shitsuke*), essa prática demanda envolvimento e comprometimento de todas as equipes de trabalho para que os benefícios de sua utilização possam ser usufruídos.

xiv. Ciclo PDCA

O ciclo PDCA é uma ferramenta de gerenciamento formada por ações ordenadas, que visam empregar um controle permanente em todo o processo, possibilitando a avaliação de desempenho e propondo melhorias continuamente. A terminologia dessa ferramenta vem das palavras *plan*, *do*, *check* e *action*, cujas traduções são respectivamente planejar, fazer, checar e agir.

A figura 4 abaixo mostra uma representação gráfica do ciclo PDCA.

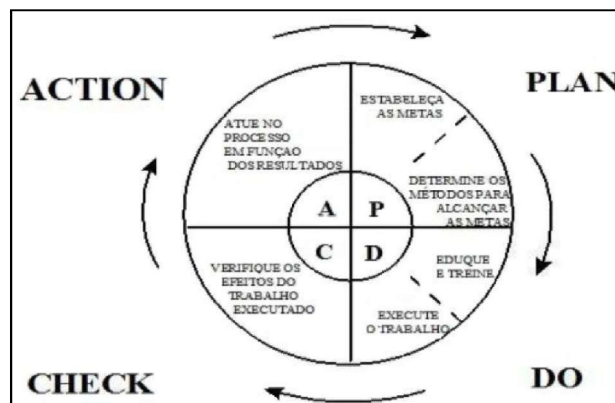


Figura 4 – Ciclo PDCA [4].

Isso posto, nota-se que essa ferramenta está diretamente ligada ao nono princípio da construção enxuta exposta nesse trabalho, haja vista que seu objetivo é promover melhoria contínua no processo através da verificação das atividades planejadas, da correção aos problemas identificados e da busca por aperfeiçoamento das atividades e da mão-de-obra.

xv. Kanban

Kanban é uma ferramenta que traduz o método de operação do STP, pois consiste na utilização de cartões, que possuem informações de coleta, transferência e produção, cuja utilização evita a superprodução e os estoques desnecessários (OHNO, 1997). Dessa forma, nota-se que essa ferramenta está ancorada em um dos pilares da produção enxuta que é o *Just in time*, possibilitando assim que a produção seja “puxada” de acordo com a demanda dos clientes, contrapondo-se à tradicional produção “empurrada”, que tem como característica a geração excessiva de estoques.

A figura 5 abaixo mostra um exemplo de um painel porta *Kanban*.

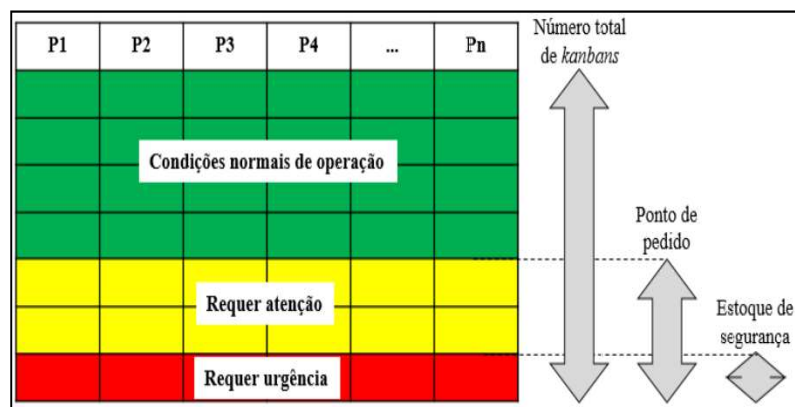


Figura 5 – Painel porta Kanban [21].

Consoante Tubino (2009), a sistemática de utilização do painel porta *Kanban* exige sua atualização sempre que forem consumidos os materiais do estoque, de forma que sejam afixados da faixa verde para a vermelha. Dessa forma, caso os cartões ocupem a área vermelha, deve-se tempestivamente atuar na reposição desses estoques para que não ocorram paralisações.

xvi. Poka –Yokes (a prova de erros)

Sabe-se que os retrabalhos ocasionados pela ocorrência de erros são um dos pontos que devem ser eliminados com a utilização dos princípios do pensamento enxuto. Dessa forma, faz-se necessária a utilização de ferramentas que minimizem essas não conformidades.

Dennis (2008), *Poka-Yoke* é uma ferramenta que reduz a sobrecarga física e mental dos colaboradores ao eliminar a necessidade constante de verificação de erros comuns que causam defeitos, tais como: pular etapas do processo, erros de ajuste, equipamentos não montados de forma correta, etc.

xvii. Andon

O *Andon* é uma ferramenta *Poka-Yoke* de gerenciamento visual que indica a ocorrência de anormalidades na produção e possibilita a rápida intervenção para solução dos problemas. Essa ferramenta pode mostrar o *status* das atividades em execução, o local de operação, assim como pode sinalizar a falta de equipamentos, materiais e informações (LÉXICO LEAN, 2003).

xviii. Células de produção

De acordo com Rother e Harris (2002), uma célula de produção é um arranjo de materiais, pessoas, máquinas e métodos onde as atividades são processadas em um fluxo contínuo, ou seja, as etapas estão próximas e ocorrem em ordem sequencial ou até mesmo em pequenos lotes mantidos ao longo de todo o processo. Com isso, podem ser percebidos benefícios como o ganho de tempo na execução, a resposta mais rápida aos problemas da produção e a otimização dos fluxos.

A figura 6 abaixo mostra um esquema de célula de produção onde é possível notar o fluxo contínuo de operação

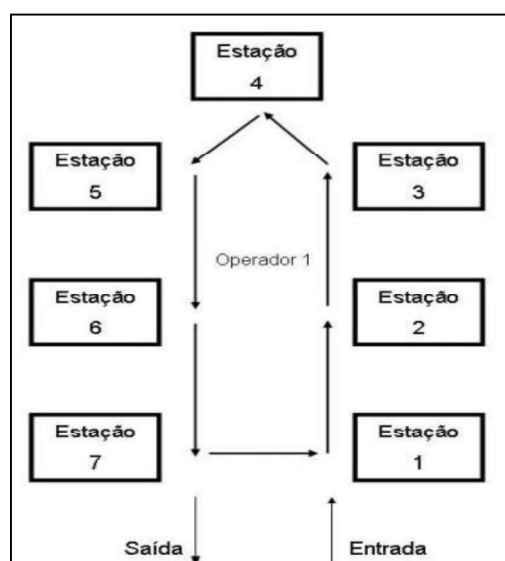


Figura 6 – Esquema de célula de produção [12].

Moser e Santos (2003) trazem um exemplo de utilização das células de produção na montagem de gesso acartonado (*drywall*), onde são observados princípios do pensamento enxuto no fluxo contínuo de execução desse serviço.

xix. Mapeamento do fluxo de valor (MFV)

Sabe-se que um dos princípios do pensamento enxuto é o fluxo de valor dos processos produtivos que, conforme mostrado anteriormente, representa uma visão global dos passos necessários para elaboração e entrega do produto final ao consumidor, que por sua vez deve enxergar valor no processo por meio do atendimento de suas necessidades.

xx. Last Planner

Para Ballard (2000), o planejamento deve ser hierarquizado em três níveis, conforme mostra a figura 7: Planejamento mestre (ou de longo prazo), que deve estabelecer os objetivos e as restrições globais do projeto; planejamento *Lookahead* (ou de médio prazo), que tem como função principal dar forma e controlar o fluxo de trabalho; e planejamento de comprometimento (ou de curto prazo), que deve atribuir pacotes de trabalho às equipes e gerenciar os compromissos com as mesmas. O nome do sistema é uma alusão a quem, em última instância, definem as tarefas a serem executadas (no curto prazo).

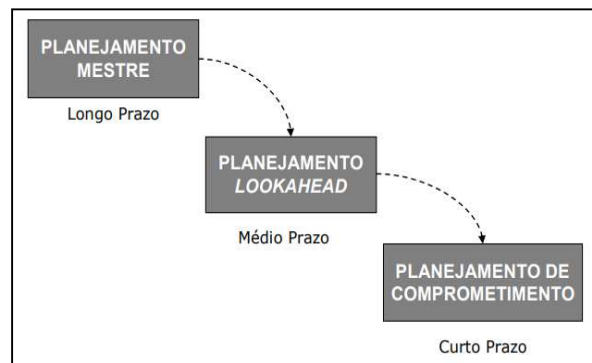


Figura 7 – Níveis de planejamento no sistema *Last Planner* [15].

A proposta de utilização dessa ferramenta é que no planejamento de comprometimento sejam especificados meios para atingir as metas do planejamento mestre através de planos semanais de trabalho, onde estarão estabelecidas as equipes, seus locais de trabalho e seus pacotes de serviço (BALLARD, 2000).

O processo de planejamento *Last Planner* pode ser visualizada na figura 8 abaixo.

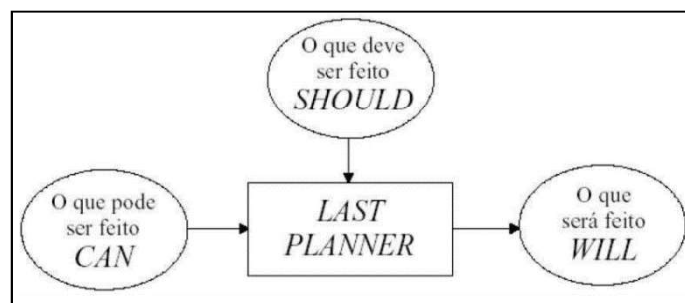


Figura 8 – Níveis Processo de planejamento *Last Planner* [1].

Com isso, nota-se que a utilização dessa ferramenta é de extrema relevância para promover o controle e a qualidade das obras, bem como aplicar uma política de melhoria contínua, haja vista que os planos semanais possibilitam a correção de

não conformidades e a tomada de decisões que solucionem as mesmas, sendo um importante meio para implantação do pensamento enxuto.

xxi. Linha de Balanço

Segundo Mendes Junior (1998), a linha de balanço é uma ferramenta gráfica que indica divergências entre o que foi planejado e a real situação das atividades e serviços da obra, através da análise do ritmo de trabalho, relacionando a quantidade de itens produzidos e o tempo necessário para produção dos mesmos.

4. CONCLUSÃO

Tendo em vista os benefícios da utilização dessas ferramentas *Lean*, infere-se que a sua utilização massiva proporcionaria a alavancagem dos resultados esperados com a aplicação desse modelo produtivo, haja vista que com o uso de cada ferramenta alcançam-se soluções para diferentes contextos de improdutividade.

Dessa forma, a utilização dos conceitos dessa filosofia de produção é uma alternativa significativa para que as construtoras possam almejar maiores lucratividades em seus empreendimentos e manterem-se competitivas no mercado.

REFERÊNCIAS

BALLARD, G; HOWELL, G. **Shielding Production: An Essencial Step in Production Control**. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, CA, 1997.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control**. School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, The University of Birmingham, 2000.

BERNARDES, M. M. S. **Planejamento e controle da produção para empresas da construção civil**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003.

CAMPOS, V. F. **Controle da Qualidade Total**. Rio de Janeiro: Editora Bloch, 3ª edição, 1992.

CBIC. **PIB Brasil X PIB Construção Civil (Variação %) - 2004 a 2020**. 2020. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/home/>. Acesso em: 31 mar. 2021.

DENNIS, Pascal. **Produção Lean Simplificada: um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 186 p.

FONTANINI, Patrícia Stella Pucharelli. **Mentalidade enxuta no fluxo de suprimentos da construção civil: aplicação de macro mapeamento na cadeia de fornecedores de esquadrias de alumínio**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

FORMOSO, C. T. **Lean Construction: Princípios Básicos e Exemplos**. Porto Alegre: Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

ISATTO, E. et al. **Lean Construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil**. Porto Alegre: SEBRAE-RS, 2000.

KOSKELA, Lauri. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Center For Integrated Facility Engineering, Stanford University, 1992.

LEXICO LEAN. **Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

LORENZON, I. A. **A Medição de Desempenho na Construção Enxuta**: estudos de caso. 2008. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). UFSC, São Carlos. 2008.

MENDES JUNIOR, Ricardo. **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. 1999. 233 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MOSER; SANTOS. **Exploring the role of visual controls on mobile cell manufacturing**: a case study on drywall technology. Blacksburg, Virginia, USA, 2003.

MOURA, Camile Borges. **Avaliação do impacto do sistema Last Planner no desempenho de empreendimentos da construção civil**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997. 150p.

PACE, J. H. **O Kanban na prática**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.

POZZOBON, C.; HEINECK, L. F.; FREITAS, M. **Levantamento de inovações tecnológicas simples em obra**. In: I Conferência Latino-Americana de construção Sustentável; X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, 2004. Anais, São Paulo: CLACS; ENTAC, 2004

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando fluxo contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. 1 ed. São Paulo, Brasil: Lean Institute Brasil, 2002.

SANTOS, Agnaldo. **Application of flow principles in the production management**. Thesis, School of Construction and Property Management, Univesity of Salford, Salford, UK, 1999.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Manual de planejamento e controle da produção**. 2. Ed. – São Paulo: Atlas, 2009.

VENTURINI, Juliana Sanches. **Proposta de ações baseadas nos 11 princípios Lean Construction para implantação em um canteiro de obras de Santa Maria**. 2015. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **A máquina que mudou o mundo**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2004. 322 p.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

ESTUDO DOS EFEITOS DA PANDEMIA COVID-19 NA CADEIA PRODUTIVA DO VIDRO NO BRASIL

CUNHA, Adria Dutra¹; MATIAS, Geovana Rodrigues²; COELHO, Jéssica Azevedo³

¹Instituto Federal de Goiás, Uruaçu-GO, Brasil, adriaduh@gmail.com, 0000-0003-0557-8568

²Instituto Federal de Goiás, Uruaçu-GO, Brasil geo.matias27@outlook.com , 0000-0002-6086-1676

³Instituto Federal de Goiás, Uruaçu-GO, Brasil, jessica.coelho@ifg.edu.br, 0000-0002-4670-3698

RESUMO

Este trabalho tem como propósito apresentar um estudo inicial acerca da cadeia produtiva do vidro demonstrando as inúmeras possibilidades de locais em que ele pode ser aplicado, em função da sua grande diversidade de tipologias, além de uma breve análise comparativa dos resultados das empresas e do desempenho das vendas no período 2018 – 2020, com foco especial no período da pandemia COVID-19. Para isso, detalhou-se a cadeia produtiva do vidro, apresentando os seus aspectos econômicos e estatísticas de uso e relevância do material avaliando os resultados do impacto causado pela pandemia do COVID-19. Assim, com os dados coletados a partir de pesquisas bibliográficas, foi possível perceber os impactos da pandemia no setor empregatício e como isto afetou a saúde das empresas do ramo. Notou-se também que o mercado vidreiro foi fortemente impactado neste período emergencial tendo perda considerável de faturamento uma vez que a demanda por mão-de-obra retrocedeu em função das paralizações de vários setores para a viabilização do distanciamento social. Contudo, com a retomada de parte das atividades, mesmo com o aumento das demandas, o setor encontrou dificuldades para atender o mercado consumidor devido, principalmente, à falta dos insumos para a produção do vidro, ocasionando consequentemente atrasos de entregas ou altos custos para habilitar os protocolos de biossegurança.

Palavras-chave: Cadeia produtiva; Vidro; Aplicação.

ABSTRACT

The purpose of this work is to present an initial study of the glass production chain, demonstrating how numerous possibilities of places where it can be applied, due to its great diversity of typologies, in addition to a brief analysis of the results of the companies and the sales performance. in the period 2018 – 2020, with a special focus on the period of the COVID-19 pandemic. For this, the production chain of your glass is evaluated, presenting the environmental characteristics of use and the environmental aspects of the material, causing the impact caused by the COVID-19 pandemic. Thus, with the impacts on the health of companies, it was possible to perceive the studies of the industry on employment and how this affected the health of the branches. It is not known that the glass market was also impacted in this emergency period, having as a billing since the demand for labor regressed to the stoppages of various sectors as a function of enabling social distancing. However, with the resumption of part of the activities, even the increase in demands, the sector with difficulties to meet the consumer market due, mainly, to lack of inputs for the production of glass, consequently causing delays of glass or costs to enable the protocols of biosecurity.

Keywords: Block chain; Glass; Application.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o vidro é um dos materiais mais utilizados na arquitetura e conseqüentemente na construção civil, uma vez que deixa o ambiente esteticamente sofisticado e a variedade de tipos de vidro nos traz ainda a possibilidade de sua aplicação em diversas partes da edificação e inúmeras finalidades, como: janelas, portas, fachadas, coberturas, divisórias, escadas, entre outros.

O vidro não é uma matéria-prima encontrada na natureza, mas é o resultado de um longo processo, que é trabalhoso desde a extração, comércio, serviços e por fim a construção (consumo final). No entanto, nessa cadeia de processos conhecida por cadeia produtiva existem outras subdivisões que variam conforme a matéria-prima e o produto final.

De acordo com Batalha [1] a definição de cadeia produtiva pode ser dada como um sistema em que as atividades estão conectadas entre si conforme o fluxo de materiais, informações e de capital com o objetivo de suprir as necessidades do consumidor final. Através da cadeia é possível detalhar os caminhos percorridos para a produção do material, sendo feita uma pesquisa sobre o andamento da comercialização do vidro apontando os problemas enfrentados pelas empresas no decorrer do período pandêmico, as estratégias e processos executados nos passos de produção, dados constando segmentos de demandas do vidro e a comercialização do vidro através dos anos apresentando a justificativa das oscilações pelo passar do tempo.

Se trata de uma pesquisa baseada em um levantamento bibliográfico de dados atualizados do mercado do vidro e das principais características deste, contando com passo a passo, comercialização, mão de obra, áreas que são destinadas ao vidro, apresentação de dados em gráficos e acompanhamento em KPIs comparando resultados e processos pesquisados.

A pesquisa tem como objetivo esclarecer os processos de produção do vidro e apontar os principais pontos que afetaram o mercado vidreiro no período pandêmico, além de trazer dados sobre a comercialização e aplicação do vidro. É de suma importância reconhecer os dados de demanda e os locais que tem mais oferta empregatícia, além de demonstrar os impactos causados pela pandemia do COVID -19.

2. CADEIA PRODUTIVA DO VIDRO

No contexto em que vivemos, em um mundo globalizado e cheio de informações, independentemente da localização se há acesso a conexão de internet estamos consumindo conteúdos de todo o mundo. A absorção dos mais variados assuntos estão presentes em nossas vidas em alta velocidade e isso tem uma grande importância para o mercado, pois gera maior competitividade entre marcas, empresas e em geral entre todos os produtos e serviços ofertados [2].

A cadeia produtiva tem um papel fundamental nesse ambiente globalizado, uma vez que ela apresenta vários aspectos que auxiliam nos desdobramentos das atividades a serem realizadas para obter o produto final. Ela não possui um padrão para ser seguido, há uma variação de acordo com a região, o que mercado ou a gestão exige, que engloba o profissional de produção até o cliente final, mapeando o fluxo do processo produtivo do produto comercializado [3].

Um dos aspectos mais importantes da cadeia é a estratégia, a fim de inovar e se adaptar com as condições a qual é imposto às empresas. Um ótimo exemplo de uma condição pela qual estamos enfrentando é a Pandemia do Covid-19, em que se fez necessário grandes mudanças nos planejamentos na produção e adaptações ao que estamos vivenciando. Outros aspectos que podem ser analisados na Cadeia Produtiva do vidro é a competitividade, a eficiência, a qualidade e a sustentabilidade. São particularidades que contribuem de forma significativa na produção e comercialização de um produto, além de ter um fator somatório com a absorção de novas demandas e propor inovações no mercado, expandido os planos e trabalhos da empresa [4] [5].

Dentro dos processos realizados com o vidro para chegar no produto final, na Figura 1 demonstra o processo de fabricação das peças de vidro ainda sem corte ou destino final.



Figura 1 - Esquema de produção do vidro.

Como segundo processo a Figura 2 demonstra a análise de qualidade do produto e a determinação das dimensões a serem vendidas, fazendo todo processo de separação e transporte para áreas que serão aplicáveis, para determinar o produto final e instalação.

A venda pode ser dividida em duas classificações, no atacado que é transportado o produto para a aplicação em esquadrias, divisórias, faixadas, guarda corpos, entre outros. Levando para lojas de materiais de construção ou estabelecimentos que vão propor outras finalidades para o produto, sendo feitas as aplicações nas mais diversas áreas; já na segunda classificação tem-se o varejo que é a venda para pessoas físicas que já propõe de forma personalizada, adaptando o produto final de acordo com o desejo do cliente.

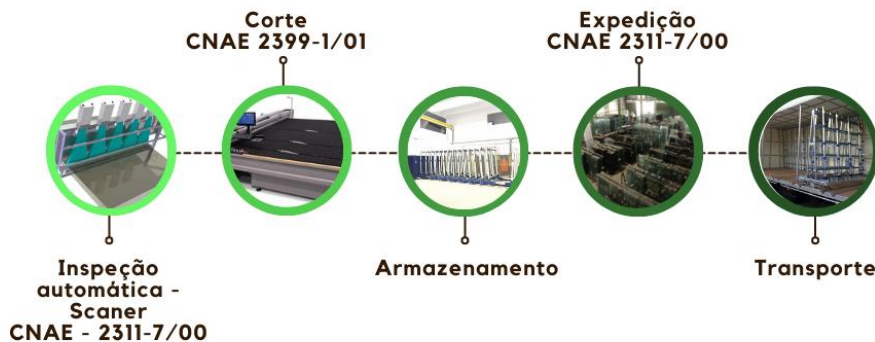


Figura 2 - Esquema de análise de qualidade.

2.1 Cadeia produtiva em situações emergenciais

Conhecida como manutenção preventiva é relacionado ao efeito de trabalhar as operações produtivas de forma que evite problemas ou componentes desgastados levando ao fim da vida útil. Dentro do caso dos vidros se trata de um caso além da linha de produção, como caso de manutenção e verificação de funcionalidade ao longo do tempo. De acordo com a norma técnica ABNT NBR 16.259 [6], é estabelecido alguns requisitos e métodos que asseguram um bom desempenho dos sistemas de envidraçamento recomendando a manutenção dos vidros em um prazo máximo de dois em dois anos [7].

É perceptível que fazer essa manutenção é importante para evitar falhas e paradas na produção, como se fosse uma forma de evitar acidentes e/ou desperdício total do trabalho e material empregado, pois situações emergenciais ou imprevistos acontecem, a questão é saber lidar com eles e conviver de forma mais dominante nesses casos. Atualmente o vidro desempenha um papel muito importante na indústria automobilística, da construção civil, moveleira, e até mesmo na saúde, então cabe as empresas de produção trabalharem de maneira preventiva já que no momento se passa uma série de emergências por conta da pandemia do COVID- 19 [5].

Nessa situação atual se relaciona ao caso de faltar produto indo para o mercado, que seria muito problemático, pois é uma mercadoria que se espalha por diversas áreas industriais de necessidade humana, compondo muitas partes do mercado de

coisas do dia a dia de qualquer pessoa. Trabalhar uma manutenção prevenindo acontecimentos evita problematizações no estoque e produção, como o risco de não chegar matéria prima por problemas ocorridos com o fornecedor, problemas com a transportadora; isso tudo pode ser averiguado para não faltar e manter a mesma produção de antes dessas situações

3. ASPECTOS ECONÔMICOS DO SETOR VIDREIRO

Para determinar uma fácil divisão de modelos e processos dentro da produção do vidro, é dividido em setores os padrões existentes para as atividades executadas pelo mercado vidreiro, esse processo é realizado pela Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), trata-se de um código que relaciona atividades econômicas exercidas por uma determinada empresa [8].

Dentro dessas classes de atividades executadas é possível apontar estatísticas dos usos do vidro, os empregos envolvidos com o setor vidreiro, destacando assim a importância do material para o setor da construção, relevância no PIB, entre outros. O setor de produção de vidro é classificado pelo grupo CNAE 4743-1/00, que representa a fabricação de vidros e produtos. Este grupo inclui as classes detalhadas na tabela 1, à seguir.

Tabela 1 – Classificação das atividades econômicas do CNAE 4743-1/00.

| Código | Descrição |
|-----------|---|
| 4744-0/04 | Areia, comércio atacadista |
| 2311-7/00 | Fabricação de vidro plano e de segurança |
| 2312-5/00 | Fabricação de embalagens de vidro |
| 2319-2/00 | Fabricação de artigos de vidro |
| 2399-1/01 | Decoração, lapidação, gravação, vitrificação e outros trabalhos em cerâmica, louça, vidro e cristal |
| 4329-1/05 | Tratamentos térmicos, acústicos ou de vibração |
| 4743-1/00 | Comércio varejista de vidros |

Essa sistematização relaciona a possibilidade detalhar e resumir a estrutura produtiva de uma cadeia, contribuindo nos estudos e análises de problemas enfrentados por estas, contribuindo na capacidade de novos processamentos e serviços a serem prestados, além de possibilitar minuciosamente inovações que sejam necessárias ao mercado. No caso do mercado vidreiro é possível detalhar o processo de produção e identificar os processos que sejam ponto principal para os problemas enfrentados pela pandemia do COVID – 19 [8].

Diante a multifuncionalidade do vidro percebemos o quanto ele é importante na construção civil, sendo empregado por exemplo em pisos, telhados, janelas, guarda-corpos (como elemento de segurança) e outros. O vidro pode passar por diversos tratamentos para adquirir a características necessárias conforme o seu emprego, podendo passar por processos de têmpera, laminação e também pode ser aplicado revestimentos superficiais. Na figura 3 a seguir podemos observar que a porcentagem de uso do vidro em maior quantidade é na área da construção civil.

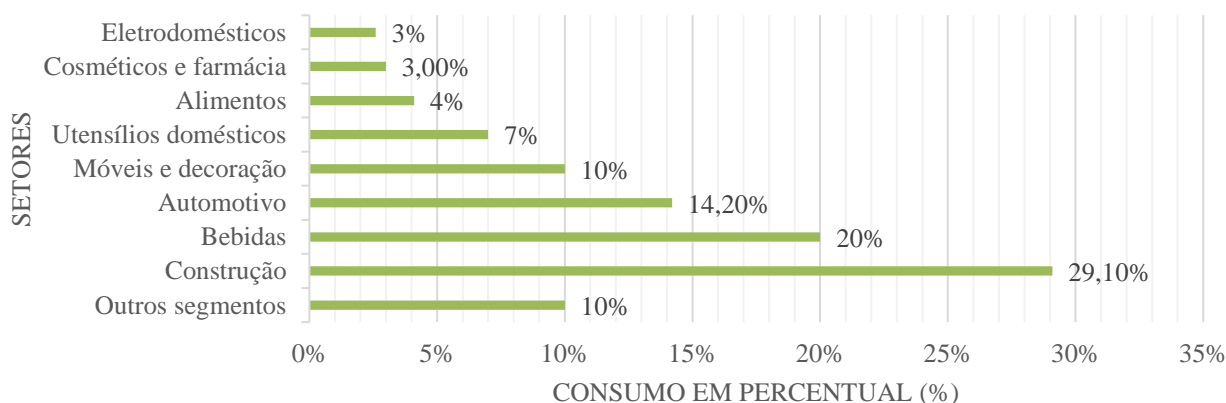


Figura 3 - Distribuição do consumo aparente de vidro por segmento de demanda, 2015. Adaptado de [9]

De acordo com o Abra Vidro [10] a comercialização dos vidros sofre oscilações de acordo com os anos, foi analisado cinco tipos de vidro e como foi feito o faturamento ao longo de três anos, dentro dos tipos de vidro foi classificado o temperado que tem uma estrutura que é até cinco vezes mais resistente a choques térmicos do que o vidro comum mesmo com espessuras semelhantes, por esse fator ele é considerado como um vidro de segurança e muito utilizado em aplicações estruturais autoportantes, que tornam desnecessário o uso de caixilhos, dentro do seu processo de produção o aquecimento é um processo peculiar desse tipo de vidro sendo gradativo para atingir a temperatura de 700°C. Assim como o vidro temperado, o vidro laminado também é considerado um vidro de segurança, ele é composto por duas – ou mais – placas de vidro unidas, uma das características que mais destacada o vidro laminado é sua resistência a impactos do que outros tipos de vidro não têm, esse modelo de vidro é aplicado em fachadas, coberturas, portas e janelas, guarda-corpo, piscinas, entre outros. Os tampos de vidro são aplicáveis em utensílios domésticos, com a junção de outros materiais como madeira, ferro e vidros comuns com espessuras mais finas. Um tipo de vidro muito utilizado é o espelho esse tipo de vidro é produzido a partir do vidro comum, que recebe camadas metalizadas, que são reflexivos, muito usado na construção civil com intuito de refletir os raios solares, reduzindo a entrada de calor no interior dos ambientes. O vidro duplo, também conhecido como vidro insulado, é um sistema de duplo envidraçamento com o benefício de uma camada interna de ar desidratado, tendo uma composição de dois planos de vidro, sendo que um deles pode ou não ser laminado, esses vidros são separados pela cavidade de ar que auxilia nas propriedades insulativas para esse componente.

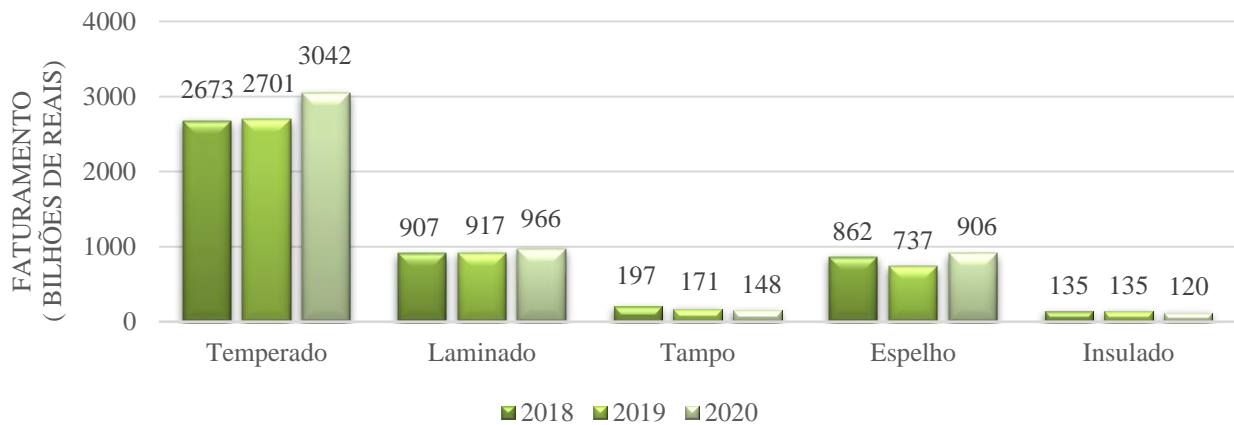


Figura 4 - Gráfico demonstrativo do crescimento da comercialização do vidro nos últimos anos. Adaptado de [10].

Segundo a Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos (ABRAVIDRO) [10] houve um crescimento significativo no setor em 2020. Com cerca de 12% a mais no faturamento das processadoras e uma superação de três bilhões com os vidros temperados. E isso permite a formação de estratégias e planejamentos para o desenvolvimento dos processos produtivos. Além disso o aumento de pessoas empregadas na área tem sido muito significativo, aumentando progressivamente, em taxas distintas, ano-a-ano desde 2017, após um decréscimo consecutivo em 2015 e 2016 (Figura 3).

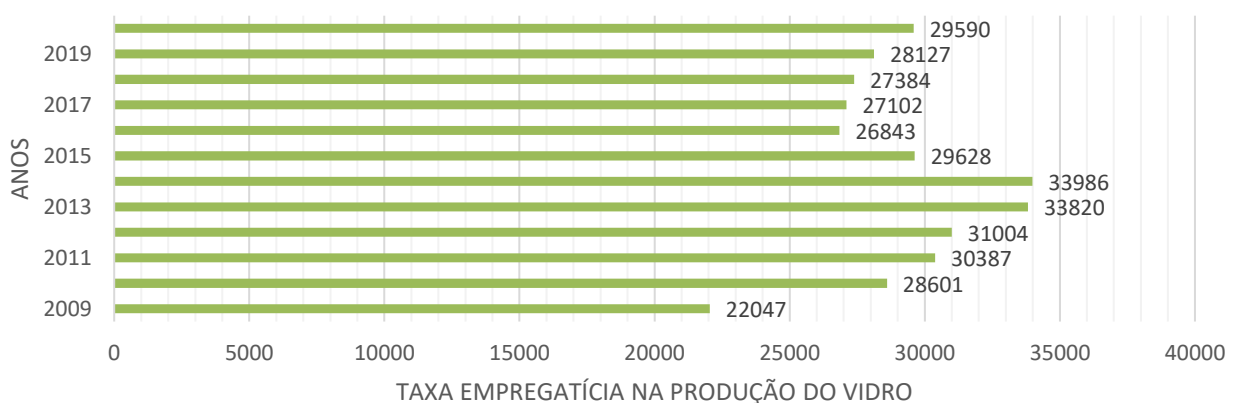


Figura 5 - Representação do aumento de emprego de pessoas na cadeia produtiva do vidro. Adaptado de [10].

O mercado produtivo do vidro é muito extenso como foi possível perceber na cadeia produtiva do vidro (Figura 1 e 2), existem diversos ramos de atuação, e variados processos produtivos até chegar ao produto final. Esta grande dinâmica de variedades, de áreas e atividades acaba por proporcionar a crescente do campo empregatício desde 2017 (figura 5). Mesmo com as grandes oscilações provocadas pela pandemia de COVID-19 é possível observar que a solidez deste setor não só manteve como ampliou a taxa empregatícia neste período emergencial em que ainda nos encontramos.

4. OS IMPACTOS DA PANDEMIA COVID-19 NO SETOR VIDREIRO

Diante da atual situação pandêmica no mundo é claramente explícito que várias áreas do mundo empresariais sofrem em consequência disso, passando então ter altas no preço, a redução de produção (pelo fato dos funcionários não poderem ter contato), a dificuldade de encontrar parceiros e fornecedores, pois houve muita queda de empresas, entre outros fatores [11].

No setor vidreiro não poderia ser diferente, apresentando aumento de preço mesmo mantendo sua demanda, já que as construções civis mantiveram sua movimentação na quarentena, isso mostra que a estruturação adequada de uma manutenção faz diferença, e pode salvar a empresa de problemas com entregas, de estoque e perda de fornecedores. Mesmo que a maior parte dos consumidores do vidro continue atuando gerou problemas como a diminuição da oferta, o ciclo de produção do vidro não seguiu os setores que requeriam as compras dessa mercadoria e a ausência de funcionários [11].

Mesmo com o fechamento inicial de todas as atividades em várias partes do País, O cenário da construção civil continuou em funcionamento e foi possível perceber um aumento da demanda por vidros, o setor vidreiro viveu um 2020 bastante atribulações em meio à pandemia, dependendo de alterações na convivência empresarial e fluxo produtivo. A inclusão da construção civil nas atividades essenciais, o auxílio emergencial e a taxa de juros muito baixa contribuíram para que o segmento do vidro tivesse um desempenho bem acima do que eu esperava inicialmente, e as adaptações feitas pelas empresas no ciclo produtivo. Porém foram encontrados problemas no princípio do mercado vidreiro, que é a extração da matéria prima [10].

Um dos grandes desafios que devia ser superado na construção civil é a limitação da oferta de matérias-primas, e durante a pandemia esse fator foi ainda mais recorrente. A falta de insumos ou seu custo elevado havia se disseminado ainda mais no início da pandemia, até a compressão de como conter a disseminação do vírus, a circulação da matéria prima sofreu diversos atrasos e até mesmo oclusão momentânea [10].

Como apresentado nas figuras 6 e 7 é possível perceber pela região do Brasil a distribuição de empregos no mercado vidreiro e proporcional aos níveis de casos de COVID – 19, sendo as linhas expressadas pelos gráficos coincidentes, como fator de suma importância a ser analisado são as evidentes paralizações que foram necessárias serem realizadas para evitar a disseminação do vírus nas empresas, levando a decaimento do mercado e atrasos na linha de produção do vidro, ocasionando atrasos nas entregas do produto final e/ou elevação de preços para manter os padrões de qualidade concordando com todas as diretrizes estabelecidas nos protocolos de segurança e produção.

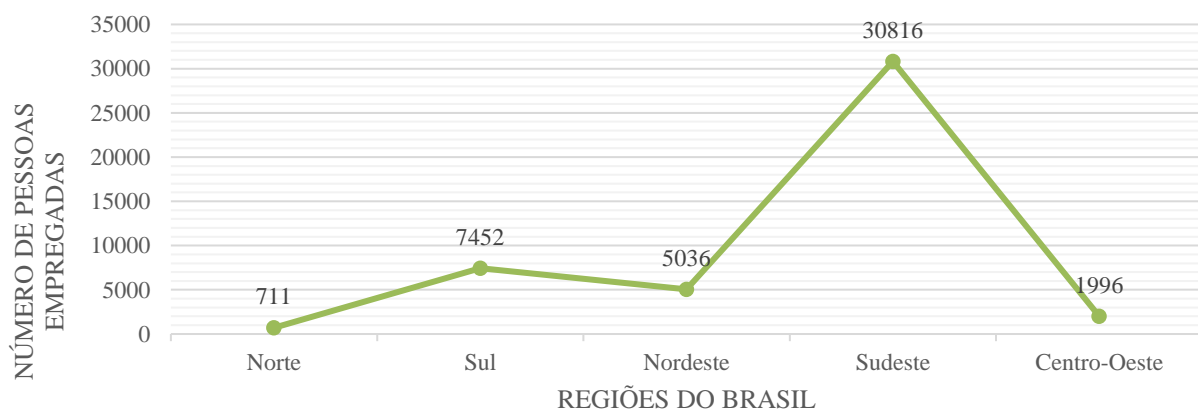


Figura 6 - Distribuição de empregos no mercado vidreiro de acordo com as regiões do Brasil. Adaptado de [12].

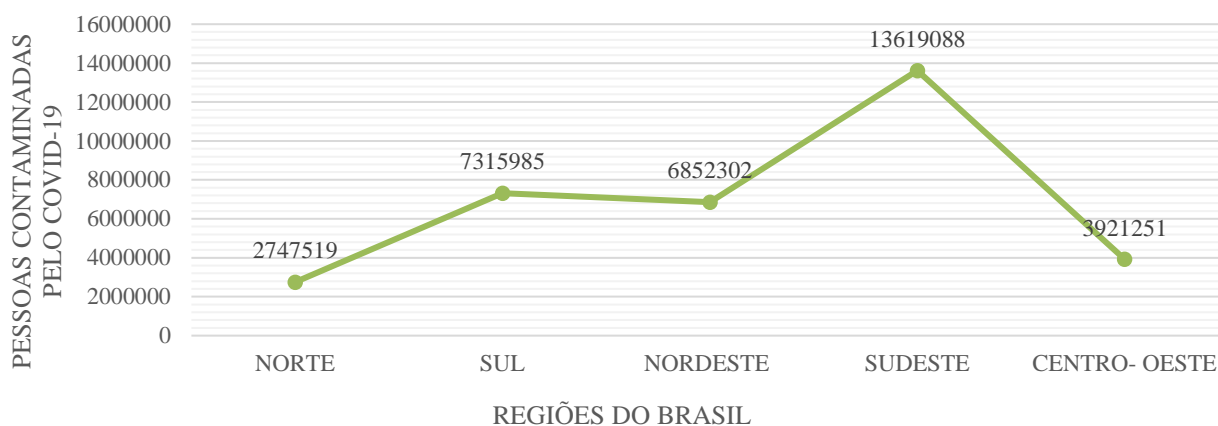


Figura 7 - Representação da quantidade de casos de COVID-19 pelos estados do Brasil. Adaptado de [13].

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro da linha da cadeia produtiva do vidro existem várias etapas para chegar em um resultado final, que vai gerar várias extensões de consumo, na área da construção civil, nas mobílias, nos eletrodomésticos, entre outros. Por meio dessas variações de necessidades é de suma importância manter a produção em andamento sem frustrações e imprevistos. Manter a cadeia produtiva em andamento é a mais perfeita estratégia de estabilizar um ciclo comercial, mantendo a manutenção de todos os setores e propiciando segurança ao longo do processo empresarial, prolongando a vida útil, a segurança financeira e do trabalhador e além de ter uma visão de entrega do produto ao consumidor.

O mercado vidreiro se expande em diversas áreas, possuindo diversas ramificações e multifuncionalidades no comércio, devendo ter uma linhagem cautelosa para visão de demanda e oferta, já que atualmente se passa uma questão problemática em saúde global, não sabendo se a empresa pode continuar atuando ou não, se está seguindo os protocolos de distanciamento e precaução, se os parceiros e fornecedores estão comprometidos para a remessa já destinada sem haver atrasos e controversas e o como essa mudança que pegou o mundo de surpresa pode afetar nas novas adaptações ao produto final que será entregue ao consumidor. Levando toda a linha de produção com os cuidados necessários e processos cautelosos para manter a qualidade e a segurança dos funcionários, além de trabalhar com os estoques necessários para evitar escassez de insumos evitando atrasos e declínios na faturação procurando estabelecer boas metas para as demandas, e como consequência é necessário a ampliação de cada processo e um estoque adequado para as demandas, fazendo também uma boa conexão com os fornecedores e compradores.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelas oportunidades, força de vontade e capacidade de superar os desafios.

À família, pelo apoio, paciência e compreensão.

Aos amigos que contribuíram com ideias e terem indicado a grande proposta de participar deste congresso.

A orientadora Jéssica Azevedo Coelho, que prestou seu tempo a orientações e contribuições a este trabalho.

A professora Cláudia Mendes, que apresentou a possibilidade e incentivou na participação.

Enfim, gratas pela contribuição de todas as pessoas envolvidas.

REFERÊNCIAS

[1] BATALHA, M. **Gestão Agroindustrial**. São Paulo: Atlas, 1997.

[2] ALMEIDA, Valéria Ribeiro da Silva Franklin. **MEIOS DE COMUNICAÇÃO E MUDANÇAS NA POLÍTICA: esses homens poderosos e suas máquinas de comunicar**. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE COMUNICAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO. Brasília/Abril de 2016.

- [3] MULLER, Cláudio José. **MODELO DE GESTÃO INTEGRANDO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO, SISTEMAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E GERENCIAMENTO DE PROCESSOS (MEIO - modelo de estratégia, indicadores e operação)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia de Produção e Transportes, Programa de pós de graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre, 2003.
- [4] BUSSACARINI, Fábio. **Gestão de crises: estratégias para sua empresa superar o coronavírus**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP) e pós-graduação em Gestão de Negócios e Projetos pela Fundação Instituto de Administração (FIA). 19 DE MARÇO DE 2020.
- [5] SANTOS, Luís Márcio Alves. Et al. **A Importância da manutenção industrial e seus indicadores**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 11, Vol. 01, pp. 108-128. Novembro de 2019. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-de-producao/manutencao-industrial>.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16259: Envidraçamento de sacadas. Rio de Janeiro, 2014.
- [7] AIDA Agency, BELLEVISION, **Fechamento de sacadas na Mooca**, 2021. Disponível em: <<https://bellevision.com.br/fechamento-de-sacadas-na-mooca-sao-paulo/>>. Acesso em: 05 de set de 2021.
- [8] CAVALCANTE, Luiz Ricardo. **Classificações tecnológicas: uma sistematização**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, março 2014.
- [9] ZAMPELLI, Cláudia. **Panorama da Indústria Brasileira de Vidro**. Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. São Carlos – SP, 2017.
- [10] ABRAVIDRO, **Panorama Abravidro 2021 mostra crescimento no setor no ano passado**. Revista O Vidro Plano, 2021. Disponível em: <<https://abravidro.org.br/punoticias/panorama-abravidro-2021-mostra-crescimento-do-setor-no-ano-passado/>>. Acesso em: 05 de ago. de 2021.
- [11] SILVA, Oslaine. **Vidraçarias também sofrem com a pandemia**. 28 de Nov 2020.
- [12] VARJÃO, Lucineide. **Panorama Setor de vidro**. Confederação Nacional do Ramo Químico, Janeiro 2015.
- [13] Ministério de Saúde. Painel de controle, COVID-19. **Coronavírus Brasil**. Disponível em<<https://covid.saude.gov.br/>>. Acessado em: 14 de maio de 2022.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

INFLUÊNCIA DA DIMENSÃO MÁXIMA DO AGREGADO GRAUÍDO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO CICLÓPICO

ROHDEN, Abrahão Bernardo¹; RODRIGUES, Gustavo Gutierrez de Oliveira²; SALAMONI, Natália²; CAMPESTRINI, Gustavo²

¹ FURB, Blumenau, Brasil, abrcivil@gmail.com, n° do ORCID: 0000-0002-8652-5064

² FURB, Blumenau, Brasil

RESUMO

Com a demanda de obras de infraestrutura e o custo dos materiais de construção é necessária a utilização de alternativas para promover a redução dos gastos na fase executiva. Sendo o concreto, o material composto mais utilizado no mundo, a busca por inovação no seu uso se tornou necessária com o passar dos anos, principalmente no contexto do alto volume demandado nas obras de fundação. Pensando neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades mecânicas do concreto ciclópico variando teores de pedra de mão. Através deste objetivo, estudou-se a influência do teor de pedra de mão na resistência à compressão axial e analisaram-se as possíveis interferências deste teor na absorção de água por capilaridade. Para tanto, realizou-se a dosagem do concreto de referência pelo método ACI 211, e para análise acerca do desempenho dos concretos com pedra de mão, foram definidas as porcentagens de substituição de 20, 30 e 40% em relação ao volume total. Constatou-se que os traços com a aplicação da pedra de mão apresentaram uma redução na resistência à compressão axial de até 69,1% em relação à referência, e observou-se que o teor de absorção reduziu à medida que o percentual de substituição aumentou. Baseado nos resultados obtidos, conclui-se que o uso de concreto ciclópico é uma alternativa que deve ser mais estudada para apresentar maior viabilidade executiva.

Palavras-chave: resistência à compressão; pedra de mão; concreto ciclópico.

ABSTRACT

With the demand for infrastructure works and the cost of construction materials, it is necessary to use alternatives to promote the reduction of expenses in the executive phase. Since concrete is the most used composite material in the world, the search for innovation in its use has become necessary over the years, especially in the context of the high volume demanded in foundation works. Thinking in this context, the present work aimed to evaluate the mechanical properties of cyclopean concrete varying levels of hand stone. Linked to this objective, the influence of the handstone content on the axial compression strength was studied and the possible interferences of this content on the water absorption by capillarity were analyzed. For this purpose, the reference concrete dosage was carried out by the ACI 211 method, and for the analysis of the performance of the concrete with hand stone, the replacement percentages of 20, 30 and 40% were defined in relation to the total volume. It was found that the traces with the application of hand stone showed a reduction in the axial compressive strength of up to 69.1% in relation to the reference, and it was observed that the absorption content reduced as the replacement percentage increased. Based on the results obtained, it is concluded that the use of cyclopean concrete is an alternative that should be further studied to present greater executive viability.

Keywords: compressive strength; hand stone; cyclopean concrete

1. INTRODUÇÃO

A demanda por obras a serem executadas é cada vez maior. Com isso, decorrente do aumento nos custos dos materiais, diversas incertezas têm sido geradas acerca de quais as técnicas executivas que devem ser adotadas, principalmente em relação aos altos volumes de materiais utilizados em todas as fases construtivas. Pensando em minimizar os gastos com o principal material utilizado no concreto, que é o cimento Portland, um método originário de construções gregas, onde erguiam fortes constituídos de grandes blocos de pedra, colocados um sobre o outro, acreditavam que só monstros conhecidos como ciclopes, enormes de um olho, teriam força suficiente para mover os blocos.

Nos tempos atuais reduziram o tamanho das pedras e adicionaram o concreto na mistura. Embora seja um sistema pouco estudado, este método é muito utilizado em obras pelo mundo, desde fundações, muros de contenção, barragens e até mesmo na arquitetura moderna.

Conhecido como concreto ciclópico, este sistema é constituído por concreto e grandes pedras, cujas dimensões superam a margem de classificação “graúda” conforme definido pela NBR 7211 [1]. Este por si só vem se mostrando muito relevante economicamente, devido à diminuição da utilização do conjunto de água, cimento e agregados miúdos e graúdos (concreto).

Segundo Neville [2] a utilização da pedra de mão, rachão ou matacão resulta no produto denominado concreto ciclópico, utilizado em obras onde é necessário um grande volume de concreto. Suas dimensões podem chegar até 30 cm, não devendo ser maior que um terço da menor dimensão a ser concretada. Outra observação importante é que o volume de pedra não pode exceder de 20 e 30% do volume total do concreto pronto, distribuindo-as pela massa. Cada camada feita necessita ter dez centímetros de espessura de concreto ao redor da pedra, caso contrário, este pode gerar problemas de fissuração e na permeabilidade do material.

Por outro lado, a norma DNIT 117 [3] indica um volume máximo de 30% de pedra, envolto por cinco centímetros no mínimo de concreto, deve ter qualidade próxima dos parâmetros da pedra britada que é utilizada no concreto estrutural e precisa ser limpa, não contendo outros materiais aglutinados em seu corpo.

Cabe ressaltar que há grande desafio na execução do concreto ciclópico, devido ao transporte, estoque de materiais e a colocação das pedras de mão na mistura, pois é de suma importância interferir quando o concreto chega na espessura da camada desejada e a quantidade de pedra de mão, para assim, começar a outra sucessivamente.

A maior vantagem de usar o agregado graúdo que pode chegar a uma dimensão de 300 mm na mistura de concreto é a economia, fazendo com que aumente o rendimento de concreto para uma determinada quantidade de cimento (NEVILLE [2]). De forma a corroborar Helene e Terzian [4] a utilização do agregado graúdo na mistura e com a finalidade de reduzir o custo do concreto, obtém de modo simplificado, não havendo a necessidade de cálculos e traçados de curvas granulométricas complexos.

A Usina Hidrelétrica de Funil, localizada no Rio Paraíba do Sul, é um exemplo de economia, havendo uma redução de 230 kg/m³ de cimento para 190 kg/m³, após aplicar pedras com dimensão máxima característica de 150 mm na mistura, assim diminuindo o consumo de concreto (HELENE; TERZIAN [4]).

Vale ressaltar que o concreto ciclópico foi muito utilizado em barragens pelo Brasil, com o intuito de diminuir o volume de concreto (SCHEINER [5]). Mehta e Monteiro [6] ressaltam que concretos considerados pesados onde a massa específica varia de 2880 a 6100 kg/m³, podem ser aplicados para a blindagem de radiação nuclear.

Entretanto, observam-se desvantagens, conforme exemplifica Neville [2] que a colocação das pedras de mão requer intenso uso da mão de obra, assim podendo acarretar um aumento nos custos totais, não sendo vantajoso a utilização desse método. Também resalta que deve tomar precauções na execução, não devendo haver ar aprisionado embaixo dos agregados.

Gerscovich [7] informa que o concreto reduz a capacidade drenante do material, devendo implantar um sistema de drenagem, no lado que está em contato com o solo, por exemplo em muros de contenção, fazendo com que a pressão exercida na estrutura seja amenizada, pois se a sua atuação continuar tão presente pode haver o surgimento de manchas e poropressão excessiva, levando a estrutura ao colapso.

O concreto ciclópico é basicamente o concreto convencional, com aplicação de pedras que segundo a NBR 7211 [1] superam a margem de classificação “graúda”, ou seja, dimensões iguais ou superiores a 150 mm de diâmetro. Um dos fatores que diferencia o concreto ciclópico é sua massa específica, por se considerado um concreto pesado. Mehta e Monteiro [6] informam que sua massa específica pode variar em um intervalo de 2880 a 6100 kg/m³, esse aumento ocorre devido a quantidade e tamanho dos agregados graúdos utilizados na mistura.

2. METODOLOGIA

Baseado no objetivo proposto neste trabalho para avaliar as propriedades mecânicas do concreto ciclópico com variação do teor de pedra de mão, foram elaborados os traços de concreto, inicialmente o material de referência, dosado pelo método ACI 211 para 25 MPa aos 28 dias. Para os concretos com acréscimo de pedra de mão em relação ao volume de concreto, foram definidas as porcentagens de 20, 30 e 40% conforme percentuais previstos por Neville [2] e o DER-SP [8]. Para o traço referência foram confeccionados corpos de prova cilíndricos e para os concretos com acréscimo de pedra de mão foram moldados em fôrmas com diâmetro de 15 cm e altura de 30 cm, concernente a necessidade de aumento na área útil para que todo o volume necessário pudesse ser acondicionado. Mediante a limitação nas dimensões das fôrmas, foram selecionados agregados com diâmetros máximos de 12 cm.

A Figura 1 demonstra o fluxograma do procedimento experimental utilizado para confecção dos concretos.

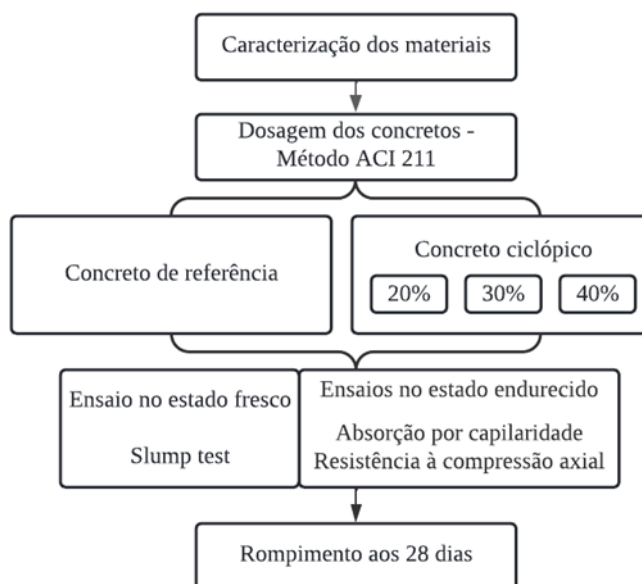


Figura 1 – Fluxograma do procedimento experimental

De forma inicial, os materiais utilizados para moldagem dos concretos foram caracterizados, para posterior dosagem dos materiais e preparação dos concretos conforme o método ACI 211, tanto para o concreto de referência quanto para os concretos ciclópicos. Decorrente disto, realizaram-se os ensaios nos fresco (slump test - abatimento) e endurecidos (absorção e resistência à compressão aos 28 dias).

Decorrente dos procedimentos de dosagem, os quantitativos de materiais utilizados no traços de concreto são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dosagem dos materiais utilizados

| Material | Referência (kg/m ³) | 20% (kg/m ³) | 30% (kg/m ³) | 40% (kg/m ³) |
|------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Cimento Portland | 354 | 312 | 273 | 234 |
| Agregado miúdo | 825 | 726 | 636 | 545 |
| Agregado graúdo | 923 | 812 | 711 | 609 |
| Pedra de mão | 0 | 554 | 831 | 1108 |
| Água | 216 | 190 | 166 | 143 |

Observa-se que os quantitativos de materiais são reduzidos à medida que o percentual de inserção da pedra de mão é efetuado. Um fator a se destacar é acerca da relação a/c nas misturas, na qual foi fixada em torno de 0,61 em todos os traços de concreto, com abatimento médio de 100 ± 20 mm.

2.1 Materiais

O cimento Portland adotado para realização do trabalho foi o CP IV – 32 – RS. Para caracterização do cimento Portland realizou-se o ensaio de massa específica, seguindo as diretrizes estabelecidas pela DNER-ME 093 [10], obtendo-se o resultado de 3,12 g/cm³.

O agregado miúdo utilizado foi proveniente de extração na cidade de Blumenau-SC. Sua composição granulométrica foi elaborada conforme a NBR NM 248 [11] apresentou módulo de finura igual a 2,63 e foi classificada como areia grossa. O perfil granulométrico da areia pode ser notado na Figura 2.

Conforme pode ser notado na Figura 2, o perfil granulométrico do agregado miúdo é contínuo e bem graduado. De acordo com a NBR 7211 [1] o material está em zona ótima dos limites de distribuição, estando assim apta para o uso.

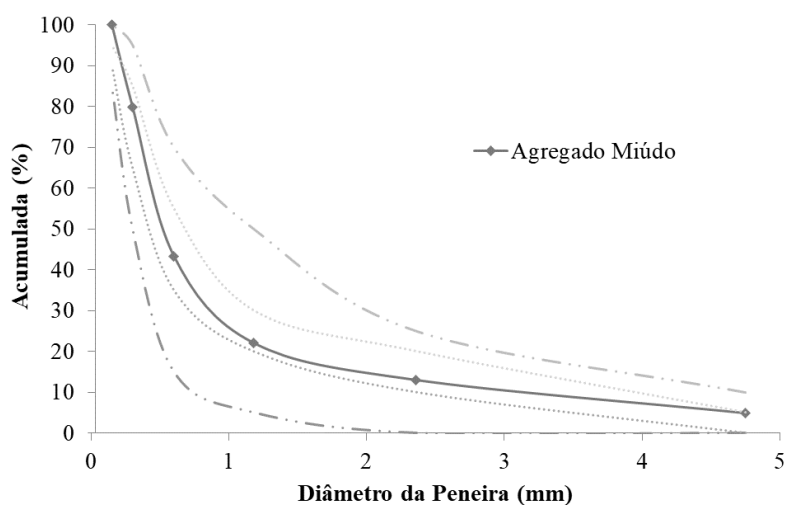


Figura 2 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo

Além da elaboração do perfil granulométrico, a areia foi submetida ao ensaio de massa específica, sendo esta correspondente a 2,63 g/cm³.

O agregado graúdo utilizado foi brita natural, e realizou-se o ensaio de composição granulométrica conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR NM 248 [11], adquirindo como resultado de dimensão máxima característica igual a 12,5 mm. Na Figura 3 pode-se observar a curva granulométrica do agregado graúdo.

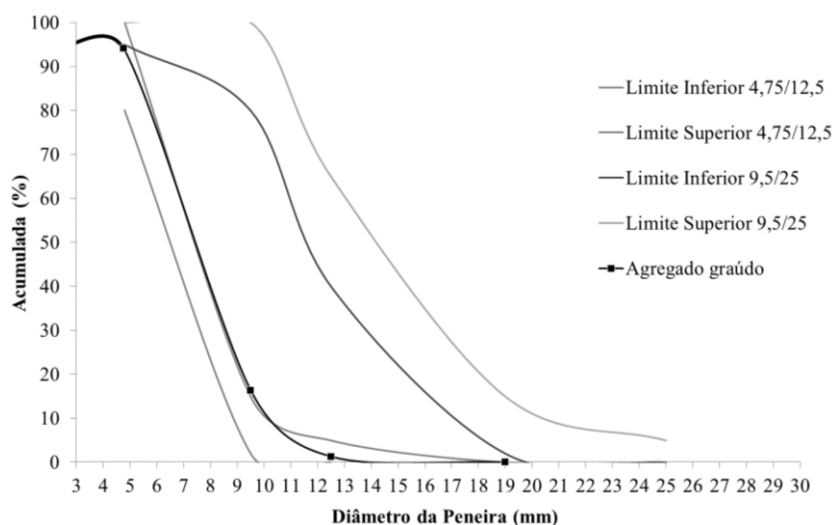


Figura 3 - Curva de granulometria do agregado graúdo

Conforme pode ser observado na Figura 3, o agregado graúdo utilizado encontra-se na zona 4,5/12,5, comumente chamada por brita 0. Baseado na necessidade de conhecimento das massas específicas dos materiais, além da absorção e massa unitária compactada, foram realizados os ensaios inerentes a cada característica e os resultados podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características do agregado graúdo

| Ensaio | Resultados |
|--|------------|
| Massa específica do agregado seco (g/cm^3) | 2,76 |
| Massa específica saturada superfície seca (g/cm^3) | 2,77 |
| Massa específica aparente (g/cm^3) | 2,79 |
| Absorção de água (%) | 0,34 |
| Massa unitária compactada (g/cm^3) | 1,63 |

A pedra de mão utilizada corresponde ao agregado graúdo que passa no britador primário, pedra de dimensões entre 50 e 150mm, utilizado para a confecção do concreto ciclópico. O material foi extraído em jazida na cidade de Blumenau-SC, podendo ser observado na Figura 4.



Figura 4 - Pedra de mão utilizada

Baseado na coleta realizada, constatou-se as mais variadas geometrias e dimensões das pedras de mão. Com base nisso, foram selecionados os formatos mais próximos para inserção nos corpos de prova de concreto para que a análise de todos os traços se realizasse de forma semelhante, sem propiciar os efeitos mais gerais decorrentes do diâmetros dos agregados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resistência à compressão axial

Decorridos os 28 dias após a moldagem e a realização da cura úmida, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de rompimento para avaliação quanto a resistência à compressão. Na

Figura 5 pode-se observar os resultados encontrados após os rompimentos dos corpos de prova.

De posse dos resultados (Figura 5) demonstrou-se que a adição das pedras de mão interfere nas propriedades mecânicas do concreto, principalmente a termos de redução de resistência à compressão axial. O traço de 20% de pedra de mão, demonstrou uma diminuição de cerca de 35% quando comparada a resistência obtida no traço referência.

Em relação ao traço com 30% de pedra de mão, observou-se um ganho de resistência quando analisado em relação a 20%, no entanto, uma redução de cerca de 25% da referência. Um fator a ser considerado trata a respeito da trabalhabilidade dos concretos à medida que as pedras de mão passavam a ser inseridas. Para o traço com adição de 20% não foram

observadas dificuldades executivas, no entanto, a partir de 30% foram vistas grandes dificuldades executivas, principalmente pela quantidade de pedras dispostas em cada corpo de prova.

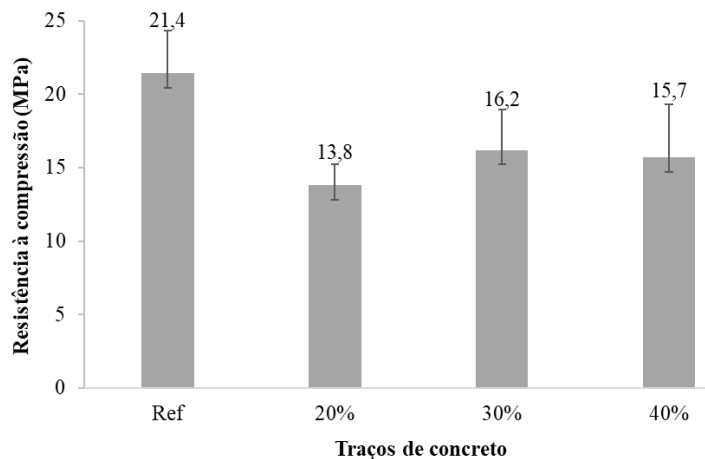


Figura 5 - Resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto - referência e com adição de pedra de mão

Por fim, para os concretos com adição de 40% de pedra de mão, apresentou uma redução considerável de resistência, cerca de 26% em relação ao traço referência. Aos fatores de dificuldade executiva mencionados para o traço de 30%, foram notados com ainda mais intensidade para este caso em questão.

Mediante os resultados apresentados se encontrarem próximos, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) para constatação de possíveis diferenças significativas nos dados obtidos (Tabela 3).

Tabela 3 – Análise Anova fator único

| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | Valor -P | F crítico |
|-------------------|----------|----|---------|--------|----------|-----------|
| Entre grupos | 527,186 | 3 | 175,729 | 22,662 | 2,12E-10 | 2,734 |
| Dentro dos grupos | 550,569 | 71 | 7,7545 | | | |
| Total | 1077,755 | 74 | | | | |

De posse dos resultados obtidos com o cálculo da ANOVA (Tabela 3), constatou-se que ocorreram diferenças significativas entre os concretos, e que estes, ainda que apresentem resultados próximos.

3.2 Absorção por capilaridade

O ensaio foi realizado conforme a NBR 9779 (ABNT, 2012) selecionando-se 3 corpos de prova de cada traço, colocados em um recipiente com o nível de água 5 ± 1 mm, acima da parte inferior do corpo de prova demonstrado na Figura 6 .



Figura 6 - Ensaio de absorção por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade realizado nos traços de concreto, teve como objetivo determinar os valores de absorção média nas leituras de 3, 6, 24, 48 e 72h. Baseado nas leituras realizadas, foi possível traçar o perfil de absorção para cada tipo de

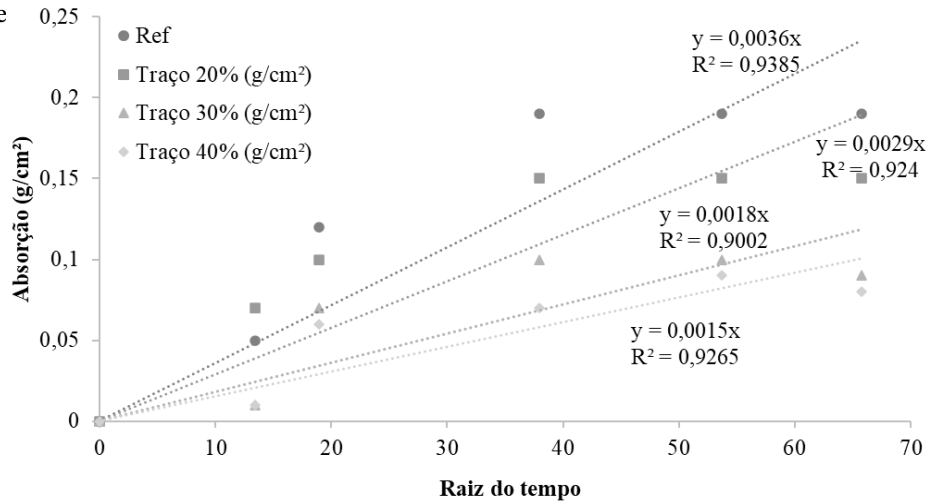


Figura 7 - Perfis de absorção por capilaridade

Conforme observado nos resultados obtidos (Figura) é possível verificar que é um material com baixa absorção. Um fato de grande relevância é que à medida que os percentuais de pedra foram inseridos nos concretos, o dado de absorção foi inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a quantidade de pedra de mão menor o dado de absorção do concreto.

No traço de 20% em 0 horas o material não apresentou absorção, em 3 h identificou-se uma absorção média de 0,09%, para 6 h 0,13%, 24 h 0,20%, 48 h 0,21% e em 72 h 0,20%, demonstrando uma redução na absorção média de 48 h para 72h, em razão a evaporação do fluido.

O traço de 30% em 0 h não absorveu água, em 3 h demonstrou absorção em torno de 0,06%, para 6 h decorridas uma absorção de 0,09%, em 24 h 0,13%, chegando até 0,10 % após as 72 h de ensaio. Já para o traço de 40%, a primeira hora não apresentou absorção, devido ao material estar totalmente seco, enquanto em 3 h ocorreu um aumento de 0,05%, até as 72 h finais do ensaio o resultado foi próximo aos valores de 0,10% de absorção, de forma análoga com os traços anteriores, ocorreu uma considerável diminuição na absorção em todos os horários, além da evaporação do fluido. Este efeito decorre em virtude do aumento do percentual de agregados, que por conseguinte, diminuem o teor de argamassa na mistura.

Foi notável observar que quanto maior o teor de pedra de mão, mais impermeável fica o material e a absorção está ligada a durabilidade, pois quanto mais acesso e movimentação dos fluidos mais sujeito a substâncias nocivas o material está.

4. CONCLUSÕES

A resistência à compressão axial do concreto ciclópico, apresentou com o aumento dos teores de 20, 30 e 40% de pedra de mão uma diminuição significativa na resistência média em comparação ao traço referência. Em 20% de pedra de mão, apresentou uma boa trabalhabilidade, pouca segregação de material, não havendo tanta necessidade de vibração para a incorporação das pedras de mão na mistura.

Com 30% apresentou um aumento na resistência à compressão em comparação a 20% e 40% de pedra de mão, além de ter ocorrido uma diminuição na trabalhabilidade de execução do elemento. Demonstrou também uma maior segregação de material do que o teor de 20%, ocorrendo a necessidade de usar mais o vibrador para introduzir as pedras de mão, necessárias na mistura.

Utilizando a maior porcentagem de 40% verificou-se uma queda no desempenho em relação a 20 e 30% de pedra de mão para confeccionar o concreto ciclópico, além de uma grande diminuição na resistência de 69 % em relação ao traço referência. Apontou muita segregação de material devido a maior vibração.

Com referência ao ensaio de absorção de água por capilaridade, utilizando os traços de 20, 30 e 40% foi notório que houve diminuição na absorção média conforme o aumento das porcentagens de pedra de mão. Quanto aos teores, apresentaram uma diminuição na absorção média nas 72 h. É necessário destacar que a durabilidade do material está ligada com a absorção, pois quanto maior a absorção maiores as chances de deterioração do material por agentes químicos. Verificou-se que o concreto tem baixa absorção e reduz o transporte de fluidos pelos seus capilares.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto** - Especificação. Rio de Janeiro, 2019.
- [2] NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**: 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- [3] DNIT – ES 117/09. **Pontes e viadutos rodoviários – concretos, argamassas e calda de cimento para injeção** – especificação de serviço. 2009 – Norma Rodoviária.
- [4] HELENE, P. R. L. Manual de dosagem e controle do concreto / Paulo Helene, Paulo Terzian. – São Paulo: Pini: Brasília, DF: SENAI, 1992.
- [5] SCHEINER, T. **Concreto Massa no Brasil**. Rio de Janeiro: IBRACON, 1989.
- [6] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- [7] GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de contenção: muros de arrimo**. UERJ, Rio de Janeiro, 2009.
- [8] DNER – ES 330/97. **Obras de arte especiais – concretos e argamassas**. 1997 – Norma Rodoviária.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: **Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.
- [10] MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **DNER-ME 093**: Determinação da densidade real. Brasília, 1994. 4 p. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-emanuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me093-94.pdf/view>>. Acesso em: maio. 2020.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM PET (POLITEREFTALATO DE ETILENO) SUBSTITUINDO PARCIALMENTE O AGREGADO MIÚDO

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro¹; JORGE, Lais dos Santos²; DIAS, Juliana Silva³

¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil – cleidsonguimaraes@gmail.com

² Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil – lsjorge.ufrb@gmail.com³ Pós-Graduada em Engenharia Diagnóstica: desempenho, patologia e perícias na construção civil, UNIP, São Paulo, Brasil – sdjuliana@hotmail.com

RESUMO

Tanto a extração da areia no ecossistema pela indústria da construção civil quanto a geração de resíduos de politereftalato de etileno (PET) podem promover danos ambientais irreversíveis. Todavia, essas duas cadeias podem interagir de forma que os resíduos de uma delas se transformam em matéria prima para a outra de forma a operacionalizar a logística reversa. Este trabalho avaliou as resistências à compressão axial e tração por compressão diametral e absorção de água em argamassas produzidas com substituição parcial do agregado miúdo por PET em teores 5%, 10% e 15%. Foram produzidas argamassas com traço, em massa, de 1:3 e mesma relação a/c em todas as misturas. Os resultados encontrados nas argamassas com o agregado de PET apresentaram uma diminuição da resistência mecânica e aumento na absorção de água.

Palavras-chave: Logística reversa, agregado miúdo e politereftalato de etileno (PET)

ABSTRACT

Both the extraction of sand in the ecosystem by the construction industry and the generation of polyethylene terephthalate (PET) waste can promote irreversible environmental damage. However, these two chains can interact so that waste from one of them becomes raw material for the other in order to operationalize reverse logistics. This work evaluated the axial compressive and tensile strengths by diametral compression and water absorption in mortars produced with partial replacement of the fine aggregate by PET at 5%, 10% and 15% contents. Mortars were produced with a trace, by mass, of 1:3 and the same w/c ratio in all mixtures. The results found in the mortars with the PET aggregate showed a decrease in mechanical strength and an increase in water absorption.

Key-words: Reverse logistics, small aggregate and polyethylene terephthalate (PET).

1. INTRODUÇÃO

O aumento da geração de resíduos sólidos é uma preocupação da espécie humana. Nos países mais desenvolvidos da Europa e nos Estados Unidos o acúmulo de resíduos (devido ao crescimento do consumo e produção) chegou ao extremo. A utilização do PET não afeta diretamente o meio ambiente, mas o volume significativo de resíduo gerado e sua resistência aos agentes atmosféricos e biológicos o transforma em um material nocivo[1]. Sua biodegradação requer milhares de anos, fato que provoca sérios problemas ambientais principalmente quando a alternativa para o longo tempo de biodegradação é a queima desses resíduos em aterros ilegais[2;3]. Além disso, há uma crescente escassez de locais para aterro e seus custos operacionais são cada vez maiores, logo os resíduos representam hoje uma séria ameaça ao meio ambiente [4]. Uma das medidas para esse problema é a reciclagem, sistema que consiste em aproveitar os resíduos sólidos pós-consumo: separando, transformando e reutilizando em outras cadeias produtivas [5]. Entre 1960 e 2012, os resíduos gerados por plásticos aumentaram cerca de 80 vezes, entretanto a reciclagem só começou em 1980 com uma taxa de reciclagem de 0,3% e em 2012 essa taxa foi de 8,8%, portanto, insuficiente para proteger o meio ambiente[2].

Em 2010 entrou em vigência no Brasil a Lei 12.305 que visa uma Política Nacional de Resíduos Sólidos com o objetivo de estabelecer um sistema de logística reversa, encorajando a reutilização do plástico em novos produtos para que não sejam descartados nos aterros ou locais impróprios[6]. O único material análogo (em quantidade) ao plástico é o concreto [3] e nesse contexto, os resíduos plásticos podem servir de matéria-prima na produção de artefatos cimentícios, ou seja, as duas cadeias podem estabelecer interligações para operacionalizar a logística reversa.

O politereftalado de etileno (PET) é classificado como termoplástico usado em garrafas de refrigerante, produtos de limpeza, sacolas, dentre outros. Quando descartado em aterros levam em média 400 anos para se degenerar [7]. Segundo a associação de compromisso empresarial para reciclagem (CEMPRE) [8], o Brasil recicla apenas 59% de PET pós-consumo ao mesmo tempo em que há impacto gerado pela extração da areia natural do meio ambiente para atender ao mercado da construção civil. Diversos problemas ambientais [5] são causados devido ao extrativismo insustentável da areia natural, originando problemas como: diminuição da cobertura vegetal nas margens dos rios, assoreamento e erosão; diminuição do filtro físico e biológico natural das águas subterrâneas, função representada pela areia; a extração em grandes quantidades reduz a pressão sobre os lençóis de águas subterrâneas.

Mello (2011) [9] apontou que o uso de resíduos de polietileno de alta densidade (PEAD) reciclado pós-consumo substituindo, parcialmente, o agregado miúdo em percentuais de 10%, 17% e 25%. Foi avaliado, no estado fresco, a retenção de água, consistência e teor de ar incorporado/aprisionado. No estado endurecido, foi avaliada a resistência à compressão, tração na flexão, resistência de aderência à tração, ductilidade na compressão, módulo de elasticidade e absorção de água por capilaridade. Os resultados apontam uma diminuição no índice de consistência à medida que aumenta o teor de substituição do agregado miúdo por PEAD. Tanto maior a quantidade de PEAD, maior a quantidade de ar aprisionado/incorporado na argamassa, todavia a retenção de água pela argamassa apresentou comportamento inverso, ou seja, todos os traços de argamassa contendo PEAD apresentaram retenção de água inferior à argamassa de referência. Tanto a resistência à compressão quanto a de tração diminuem com a substituição do agregado miúdo por PEAD, todavia houve mudança de comportamento do material pós fissuração. Tanto maior o teor de PEAD, maior a resistência residual pós fissuração, isso porque o PEAD tende a reduzir a propagação da fissura.

Oliveira, et al.(2004) [10] avaliou o potencial de uso da areia de PET em substituição à areia natural, para o preparo de concretos estruturais. Os autores [10] avaliaram a trabalhabilidade, densidade e resistência à compressão, para teores de 25%, 50%, 75% e 100%. Concluíram que a substituição da areia natural por areia de PET reduziu o abatimento no ensaio do tronco de cone, chegando a zero para a substituição de 100%. A resistência à compressão apresentou comportamento inversamente proporcional ao teor de PET e os autores atribuíram essa redução à baixa

resistência do agregado de PET e ao aumento da consistência. RUGGERIO, (2021) [11] destacam que a resistência à compressão do concreto contendo agregados plásticos diminui independentemente do tipo e nível de substituição dos agregados similarmente.

Para teores de substituições maiores ou iguais a 50%, os autores observaram uma perda significativa na resistência à compressão, aos 28 dias. Modro, et al. (2009) [7] também verificaram a influência da adição de resíduos de politereftalato de etileno sobre a resistência mecânica em concreto de cimento Portland. Para isso, foram preparados quatro traços 10%, 20%, 30% e 40%, em volume. Concluíram que, do ponto de vista de aplicação e em relação à resistência mecânica, os traços obtidos com a substituição de agregados minerais por resíduos de PET podem ser aplicados na Indústria da Construção Civil para a fabricação de artefatos não estruturais. Canellas (2005) [5] utilizou resíduos de PET como agregado miúdo em argamassa com proporções de 10%, 30%, 50% e 70%. Concluindo que a substituição da areia natural pelo polímero pode ser possível para substituições de até 30%, no traço em volume, enfatizando benefícios ambientais deste reaproveitamento.

HACINI et al., (2021) [4] exploraram a possibilidade de utilização de agregados oriundos de cintas de polietileno tereftalato desfiado na produção de argamassa leve com percentuais de substituição do agregado, em volume, de 0%, 15%, 30%, 45% e 60%. O trabalho avaliou a resistência à flexão e à compressão, as propriedades termofísicas, densidade e o mecanismo de reação álcali-silica. Os resultados indicaram que a inserção do resíduo diminui a densidade da argamassa ao mesmo tempo em que promove redução expressiva nas resistências à compressão e à flexão conforme aumenta o teor de substituição do agregado natural por PET. Todavia, o modo de ruptura das amostras contendo resíduo plástico não exibiu ruptura frágil, na verdade, os corpos de prova submetidos à flexão não se dividiram em dois. Os autores [4] observaram que a perda de resistência da matriz com PET está associado à formação de ligações mais débeis na zona de transição entre a matriz de cimento Portland e o agregado plástico. Quanto a reatividade álcali-silica, o trabalho revelou que tanto maior o teor de substituição, menor a possibilidade de reatividade alcalina.

A utilização de resina PET associada a adição mineral metacaulinita na produção de argamassa cimentícia foi avaliada por Waysal, Patil e Dholkiya, (2022) [1]. A resina PET foi adicionada em percentuais de 5%, 10% e 15% como material ligante em substituição ao cimento. A metacaulinita também foi adicionada como substituta do cimento em teores de 10%, 20% e 30%. Foi estudada a consistência, resistência à compressão e a durabilidade das argamassas produzidas. Os resultados indicam que uma redução na demanda por água em 3% e 5% para teores de 10% e 15% de PET, enquanto a adição de metacaulinita aumenta a demanda por água. Em 1 dia de cura, a resistência à compressão foi igual a 80% da resistência desejada com resina PET e metacaulim. Considerando os percentuais de metacaulinita e PET avaliados, os melhores resultados foram obtidos com misturas contendo 15% de resina PET e 20% de metacaulim, portanto foi considerado pelos autores, como o teor ótimo.

As propriedades físicas e mecânicas de argamassas com resíduos de garrafas de polietileno tereftalato foram estudadas por [12]. Os autores destacam que existem três maneiras principais para reciclar garrafas PET como material de construção civil: em primeiro lugar, resíduos de garrafas PET podem ser despolimerizadas em resina de poliéster insaturada para produzir argamassa e concretos de polímero. O segundo método consiste em utilizar fibra de PET para reforçar o concreto. Os autores destacam que a utilização de fibra PET pode aumentar a ductilidade de matrizes cimentícias frágeis reduzindo a fissuração. O terceiro método de reciclagem é substituir o agregado por resíduo de PET na produção de concreto leve ou concreto asfáltico. Os autores estudaram os efeitos da gradação do agregado, da relação areia/polietileno tereftalato (PET) e das condições de cura nas propriedades físicas e mecânicas de argamassa contendo PET reciclado. Os resultados indicaram que a argamassa PET reciclada contendo areia de granulometria contínua apresentou um valor de resistência à compressão maior do que a argamassa PET reciclada com areia de tamanho único. Já a resistência à flexão da argamassa de PET reciclado com relação areia-PET de 3:1 foi superior à da argamassa com relação de 2:1. Enquanto a absorção de água e densidade aumentaram à medida que

a relação areia/PET aumentou.

Diversos pesquisadores [3; 5; 7; 13; 12] estudaram as propriedades de concretos e argamassas onde o agregado foi substituído parcial ou totalmente por resíduo PET. As diferentes pesquisas indicam que tanto maior o teor de substituição do agregado natural por resíduo de PET, menor a resistência à compressão. Também destacam os ganhos ambientais da reutilização do resíduo e a diminuição da massa unitária do compósito à medida que aumenta o teor de substituição do agregado por resíduo de PET.

Na perspectiva de fomentar a discussão acerca da reutilização de resíduos em matrizes cimentícias e contribuir com ações sustentáveis, essa pesquisa visou avaliar as propriedades das argamassas produzidas com substituição parcial do agregado natural por resíduo de PET em teores de 5%, 10% e 15%, em massa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na cidade de Cruz das Almas – BA no Laboratório de Materiais de Construção II, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Foram empregados materiais disponíveis na região, como a areia lavada e a água do sistema de abastecimento local. Já o cimento Portland, optou por aquele que possuía menor teor de material inerte, dentre aqueles disponíveis na região. Essa opção baseou-se no entendimento de que o PET é inerte e poderá contribuir com o efeito filler.

2.1 Materiais

I. Cimento

O cimento utilizado para a confecção dos corpos de prova foi o CPV – ARI (Cimento Portland de alta resistência inicial). Esse aglomerante foi adotado por possuir uma baixa quantidade de materiais inertes. As Tabelas 1 e 2 apresentam as propriedades e composição química do cimento, respectivamente.

Tabela 1 – Propriedades do cimento ARI

| Características e propriedades | Unidade | CPV –ARI |
|--|--------------------|----------|
| Massa específica (NBR 6474) | kg/dm ³ | 3,12 |
| Massa unitária do estado solto (NBR 7251) | kg/dm ³ | 1,02 |
| Finura | | |
| Retido # 200 | % | 0,20 |
| Retido # 325 | % | 3,40 |
| Sup. Esp. Blaine (NBR7224) | cm/g ³ | 4687 |
| Tempo de pega | | |
| Início (NBR 11581) | min | 130 |
| Fim (NBR 11581) | min | 210 |
| Resistência à compressão (F _{cj}) (NBR 7215) | | |
| 1 dia | MPa | 27,7 |
| 3 dias | MPa | 42,0 |
| 7 dias | MPa | 46,7 |
| 28 dias | MPa | 56,1 |

Tabela 2 – Composição química do CPV – ARI

| Constituintes | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | SO ₃ | MgO | K ₂ O | PF* |
|---------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------|------------------|------|
| Amostras (%) | 64,03 | 19,65 | 4,99 | 3,17 | 2,56 | 0,83 | 0,69 | 3,61 |

PF*: perda ao fogo. Fonte: Fabricante (2017)

II. Areia

A areia empregada na mistura, como agregado natural, foi proveniente da cidade de Cruz das Almas-BA, todo seu volume foi previamente passado na malha de 4,8 mm, retirado todos os materiais orgânicos e secada em estufa a $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. A Tabela 3 apresenta as propriedades físicas do agregado miúdo.

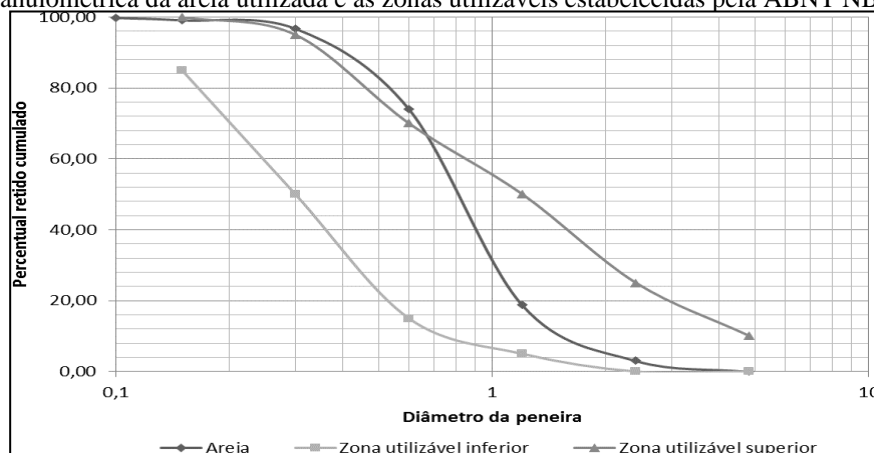
Tabela 3 – Propriedades físicas da areia

| Composição granulométrica - ABNT NM 248 (2001) [14] | | |
|--|------------|----------------------|
| Peneira (mm) | Retido (%) | Retido acumulado (%) |
| 4,8 | 0 | 0 |
| 2,4 | 3,1 | 3,1 |
| 11,2 | 15,7 | 18,8 |
| 0,6 | 55,3 | 74,1 |
| 0,3 | 22,7 | 96,8 |
| 0,15 | 2,4 | 99,2 |
| Menor que 0,15 | 0,8 | 100 |
| Dimensão máxima (mm) - NBR NM 248 (ABNT, 2001) [14]- 2,4 | | |

A massa específica foi determinada pela metodologia da ABNT NBR NM 52: 2002[15], referente a $2,58\text{ g/cm}^3$. E a massa unitária pela NBR NM 45:2006 [16], foi de $1,77\text{ g/cm}^3$.

A areia foi caracterizada granulometricamente, conforme a ABNT NBR NM 248: 2001 [14] e a curva de caracterização granulométrica e as zonas de utilização estabelecidas conforme a norma ABNT NBR 7211: 2009 [17], como mostra a Pela análise da areia lavada, os grãos se encontram na zona utilizável, com predominância da fração média.

Figura 1: Curva granulométrica da areia utilizada e as zonas utilizáveis estabelecidas pela ABNT NBR 7211: 2009 [17].



III. Água

Foi utilizado nas misturas água potável proveniente da rede de abastecimento da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Não foram realizados ensaios de verificação de teores de sulfatos ou cloretos.

IV. PET

O PET (polietileno tereftalato) é um polímero por ter características de um material inerte, transparente, leve e

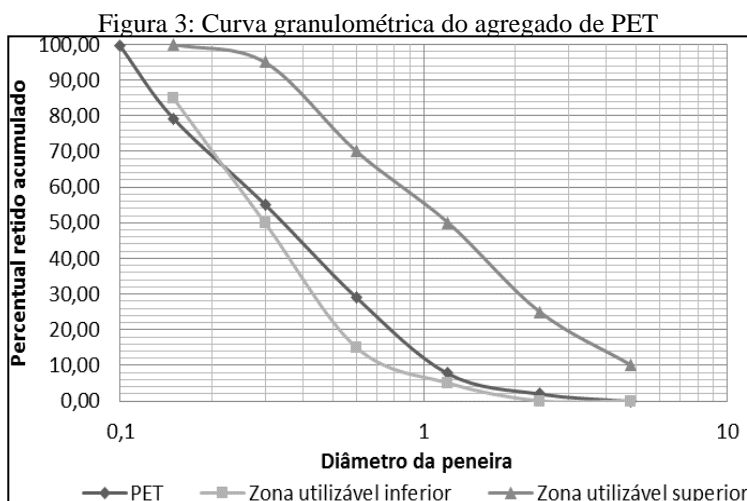
resistente e por isso começou a ser utilizado como matéria prima para embalagens. Sua densidade é igual a 1,38 g/cm³[5].

Para realizar a pesquisa foram coletadas garrafas de refrigerantes de 1L e 2L, não importando as cores. Foram retiradas às tampas, o anel do lacre e o rótulo por serem caracterizado de outro material diferente do PET. Posteriormente selecionadas, lavadas, secadas, cortadas em flocos (Figura 2a, à direita), trituradas (Figura 2a, à esquerda) no moinho de facas (Figura 2b).

Figura 2: Flocos de PET e a esquerda o mesmo triturado para ser utilizado na mistura pelo moinho de facas



Como o polímero é inerte a água, não foi realizado o ensaio de massa específica. O PET utilizado foi caracterizado granulometricamente conforme a ABNT NBR NM 248: 2001 [14] e a curva granulométrica, ABNT NBR 7211: 2009 [17], é apresentada na Figura 3.



2.2 Métodos

Para avaliar as propriedades da argamassa com substituição parcial de resíduos triturados de PET foram realizadas duas etapas. A relação água/cimento (a/c) foi controlada empiricamente, por meio do ensaio de consistência, de acordo com ABNT NBR 13276: 2016 [18] na mesa de adensamento, até obter uma consistência normal 260 +/- 10 mm. Posteriormente o agregado miúdo foi substituído por PET, em massa, em teores de 5%, 10% e 15%, originando

argamassas denominadas ao longo do trabalho por 5PET, 10PET e 15PET, respectivamente.

Foram moldados corpos de prova, seguindo a ABNT NBR 7215:2019 [19] com as dimensões cilíndricas com \varnothing 5 cm e altura de 10 cm, com os traços de 1:3 e relação água/cimento de 0,54.

Para a caracterização no estado endurecido, foi avaliada a resistência à compressão axial, a ABNT NBR 7215:2019 [19], resistência à tração por compressão diametral ABNT NBR 7222:2011[20] e determinação da absorção de água por imersão ABNT NBR 9778:2005(18). Os dados foram tratados de forma comparativa, ou seja, as propriedades das argamassas com inserção do resíduo foram comparadas com as propriedades daquela sem o resíduo, denominada por referência (REF). Para a análise da significância foi empregado o teste ANOVA e o teste Tukey para avaliar se cada um dos traços com resíduo de PET variou significativamente em relação a argamassa sem o resíduo (REF).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para avaliar as propriedades, foram moldados seis corpos de prova para cada traço e mantidos em cura por 1 dia ao ar (no molde 50mmx100mm) e 27 dias submersos em água saturada com cal.

3.1 Resistência à compressão axial

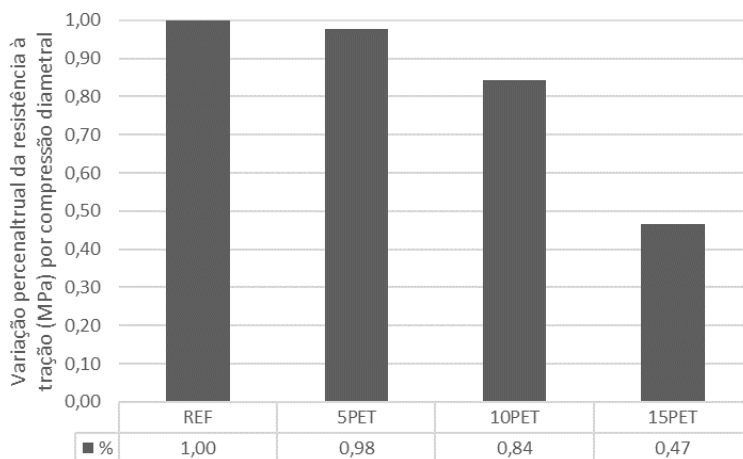
Os valores encontrados para as resistências à compressão axial das argamassas com e sem o resíduo de PET são mostrados na Tabela 5 junto com os dados estatísticos incluindo o teste ANOVA.

Tabela 5 – Resistência à compressão axial (MPa) das argamassas e dados estatísticos

| Médias das resistências à compressão axial (MPa) | | | | | Resultados ANOVA | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|--|----|------|------|---------------|-------|----------------------|
| | REF | 5PET | 10PET | 15PET | SQ | GL | MQ | F | valor-P | Fc | Efeito significativo |
| | 31,91 | 22,16 | 13,62 | 11,82 | 79,04 | 16 | 4,94 | 85,7 | 0,00000000045 | 3,242 | SIM |
| DP | 1,21 | 0,13 | 1,09 | 1,91 | Nota: SQ = Soma Quadrada; GL = Graus de liberdade; MQ = Média quadrada; F = Valor calculado de F; Valor – P = Nível de significância; Fc = F Crítico; Se $p < 5\%$ e $F_c < F$, o efeito é significativo, considerando o intervalo de confiança de 95%. | | | | | | |
| CV | 3,80 | 0,60 | 7,99 | 16,17 | | | | | | | |
| DMS | 4,03 | | | | Diferença Mínima Significativa | | | | | | |

Os resultados da avaliação estatística (ANOVA) indicam que há variação significativa da resistência à compressão axial conforme varia o teor de substituição do agregado natural por resíduo de PET. O teste de Tukey indica que há diminuição significativa da resistência à compressão em todos os traços onde o agregado natural foi substituído por PET similar aos resultados obtidos por [1,2,4,12,21]. A Figura 5 apresenta a variação percentual, em relação a REF, da resistência à compressão axial das argamassas em função do teor de substituição. Os resultados apontam redução de 31%, 57% e 63% para os teores de substituição de 5%, 10% e 15%, respectivamente. A resistência da matriz de argamassa depende da resistência do esqueleto granulométrico dos agregados. Considerando que o grão da areia natural tem resistência maior do que o grão de PET, à medida que o agregado natural é substituído por PET, há uma redução na resistência à compressão do esqueleto granulométrico. Nessa perspectiva, há redução na resistência da argamassa. De forma similar as poderções de [4], provavelmente, a inserção de PET interfere na zona de transição matriz agregado, tornando a ligação entre matriz e PET mais frágil do que a da zona de transição matriz-agregado natural. Consequentemente, há redução na resistência à compressão da argamassa produzida com PET.

Figura 5 - Variação percentual da resistência à compressão, aos 28 dias, nos diferentes traços.



Observando-se a Figura 4 é possível perceber a tendência de diminuição da resistência à compressão à medida que o agregado miúdo é substituído por PET. A resistência de uma matriz cimentícia é resultado da resistência da matriz granulométrica dos agregados acrescida da resistência promovida pelos produtos da hidratação do cimento Portland, principalmente o silicato de cálcio hidratado. A substituição da areia por um material menos resistente à compressão (PET) tende a diminuir a resistência do conjunto. Resultados similares foram obtidos por vários autores (5, 7, 8 e 9).

3.2 Resistência à tração por compressão diametral

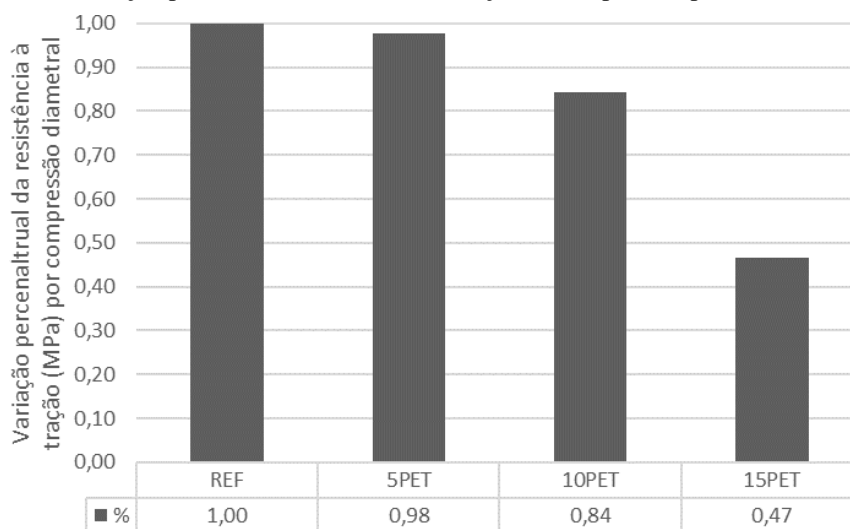
A Tabela 5 apresenta os valores da resistência à tração por compressão diametral média, do desvio padrão (DP), o coeficiente de variação (CV) e os resultados do teste ANOVA.

Tabela 6 – Resistência à tração por compressão diametral (MPa), aos 28 dias, das argamassas e dados

| Resistência a tração (MPa) por Compressão diametral | | | | | Resultados ANOVA | | | | | | |
|---|-------|------|-------|-------|--|----|------|-------|----------|------|----------------------|
| | REF | 5PET | 10PET | 15PET | SQ | GL | MQ | F | valor-P | Fc | Efeito significativo |
| | 2,58 | 2,53 | 2,18 | 1,20 | 0,72 | 12 | 0,06 | 27,19 | 0,000012 | 3,49 | SIM |
| DP | 0,29 | 0,07 | 0,20 | 0,07 | Nota: SQ = Soma Quadrada; GL = Graus de liberdade; MQ = Média quadrada; F = Valor calculado de F; Valor - P = Nível de significância; Fc = F Crítico; Se $p < 5\%$ e $F_c < F$, o efeito é significativo, considerando o intervalo de confiança de 95%. | | | | | | |
| CV | 11,11 | 2,64 | 9,20 | 5,56 | | | | | | | |
| DMS | 0,51 | | | | Diferença Mínima Significativa | | | | | | |

Conforme Tabela 6, os resultados da análise de variância (ANOVA) indicam que a substituição do agregado miúdo por PET triturado promove variação significativa na resistência a tração por compressão diametral. Comparando, por meio do teste Tukey, os resultados das resistências à tração por compressão diametral com a REF, observa-se que apenas o teor de substituição de 15% apresentou diminuição significativa nessa propriedade. Estatisticamente, a substituição do agregado miúdo por 5% e 10% de resíduo de PET triturado não interfere significativamente na resistência à tração. A Figura 6 apresenta a variação percentual, em relação a REF, da resistência à tração por compressão diametral (MPa) em função do teor de substituição do agregado miúdo por resíduo de PET triturado.

Figura 6 - Variação percentual da resistência à tração (MPa) por compressão diametral.



Observa-se, na Figura 6, uma tendência a diminuir a resistência à tração à medida que o agregado miúdo é substituído parcialmente pelo resíduo de PET triturado. Entretanto, até 10% de substituição não há variação expressiva nessas propriedades. Isso ocorre, provavelmente, porque o PET é um material plástico que pode ancorar as primeiras fissuras da argamassa dificultando a ruptura da matriz cimentícia. Acima de 10%, a redução do agregado natural, provavelmente, compromete o intertravamento entre os grãos, comprometendo expressivamente a resistência à tração, fato similar foi observado por [1–3, 11, 12,13].

3.3 Absorção de água por imersão

A absorção da argamassa no estado endurecido é uma maneira de avaliar a porosidade aberta, isto é, o volume de poros acessíveis à água, que pode ser determinado pela quantidade de água absorvida em um dado intervalo de tempo.

Os valores médios de absorção de água por imersão, segundo a NBR 9778 (ABNT, 1987), são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 Absorção de água por imersão (%) das argamassas e dados estatísticos

| Absorção de água por imersão (%) | | | | | Resultados ANOVA | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|-------|-------|--|----|------|--------|-------------|------|----------------------|
| | REF | 5PET | 10PET | 15PET | SQ | GL | MQ | F | valor-P | Fc | Efeito significativo |
| | 8,30 | 8,83 | 9,10 | 11,97 | 0,53 | 8 | 0,07 | 121,78 | 0,000000514 | 4,07 | SIM |
| DP | 0,27 | 0,04 | 0,20 | 0,16 | Nota: SQ = Soma Quadrada; GL = Graus de liberdade; MQ = Média quadrada; F = Valor calculado de F; Valor – P = Nível de significância; Fc = F Crítico; Se $p < 5\%$ e $F_c < F$, o efeito é significativo, considerando o intervalo de confiança de 95%. | | | | | | |
| CV | 3,21 | 0,50 | 2,20 | 1,30 | | | | | | | |
| DMS | 0,68 | | | | Diferença Mínima Significativa | | | | | | |

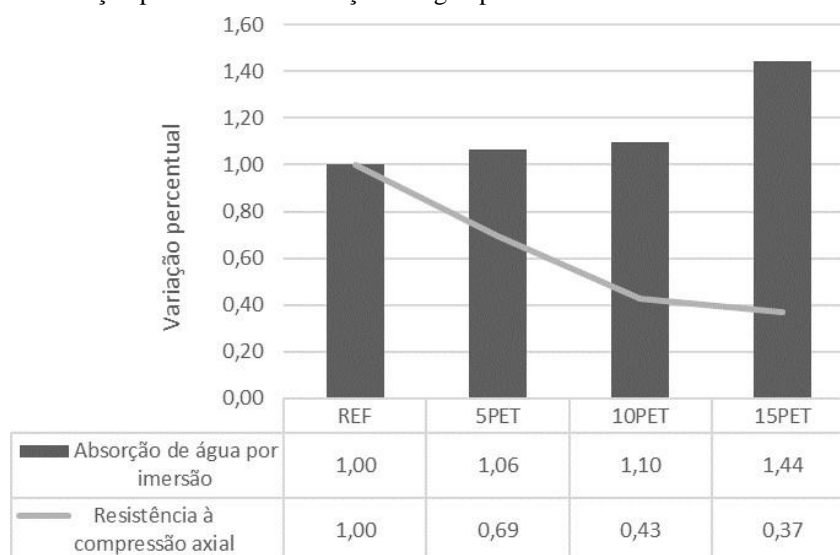
A análise de variância indica mudança significativa na absorção de água por imersão das argamassas. O teste de Tukey indicou que a argamassa com 5% de substituição do agregado miúdo por PET não apresentou variação expressiva na

absorção de água, enquanto os teores de substituição de 10% e 15% incrementaram significativamente a absorção de água em relação a argamassa de referência.

O teor de substituição de 5% tende a manter a absorção equivalente à argamassa sem o resíduo, isso porque, possivelmente, os grãos de PET tendem a preencher os vazios da matriz, reduzindo a porosidade. Para que ocorra redução do número de vazios de uma matriz granulométrica é necessário que o teor de vazios seja equivalente a quantidade de grãos da faixa granulométrica inserida. Quando isso ocorre há o preenchimento dos vazios e a matriz assume a maior densidade com aquela faixa granulométrica inserida. Se houver incremento de grãos maior do que essa proporcionalidade, então haverá incompatibilidade entre a quantidade de vazios da matriz e o número de grãos inseridos, consequentemente, haverá afastamento dos grãos existentes originando novos vazios. Fenômeno que tende a aumentar o teor de vazios e a absorção de água. Provavelmente, esse fenômeno pode estar ocorrendo com os teores de substituição de 10% e 15%. Resultados similares foram obtidos [1,2,4,12,21]. Outro fator que pode interferir é a provável formação de zona de transição mais porosa entre a matriz cimentícia e o PET, tal qual foi previsto por [4].

A Figura 7 apresenta a variação percentual da absorção de água por imersão, aos 28 dias, e a variação percentual da resistência à compressão axial das argamassas com diferentes teores de substituição.

Figura 7 - Variação percentual da absorção de água por imersão e da resistência à compressão axial



Geralmente, comparam-se os resultados de resistência à compressão com a absorção de água. De forma geral, matrizes mais compactas reduzem a absorção de água e aumentam a resistência à compressão. Todavia, quando o agregado miúdo é substituído por materiais plásticos, como o PET, esse comportamento geralmente não é observado. Pois o plástico pode tornar a matriz mais compacta e menos porosa, mas a resistência do conjunto pode ser menor porque a substituição de grãos de areia por um material menos resistente (PET) tende a reduzir capacidade de suporte à compressão da matriz. Possivelmente, esse fenômeno está ocorrendo, pois é observado, na Figura 7, que as variações nas propriedades absorção de água por imersão e resistência à compressão axial apresentam comportamento não proporcionais. Inclusive, para a argamassa 5PET há redução significativa na resistência à compressão axial, enquanto a absorção de água por imersão da argamassa 5PET é, estatisticamente, igual a argamassa sem o resíduo.

4. CONCLUSÕES

De forma geral, pode-se concluir que a substituição parcial do agregado natural por agregado artificial de PET tende a reduzir a resistência à compressão axial das argamassas com traço 1:3. De forma específica, pode-se afirmar:

- Independente do teor de substituição do agregado natural por PET triturado, há redução expressiva na resistência à compressão axial;
- A substituição do agregado miúdo por 10% PET produziu argamassas com resistência a tração equivalentes a argamassas sem o resíduo;
- A substituição do agregado miúdo natural por 5% de PET resulta em argamassas com absorção de água por imersão equivalente à argamassa sem o resíduo;

Embora a substituição do agregado miúdo por resíduo de PET apresente tendência a reduzir as resistências à compressão axial, a resistência a tração e absorção de água são preservadas para o teor de 5%. Existem diversas aplicações de argamassa as quais a resistência a compressão axial não é a propriedade principal. Nesses casos, a substituição do agregado natural por resíduo de PET é uma alternativa viável até o teor de 5%.

5. REFERÊNCIAS

- [1] S.M. Waysal, Y.D. Patil, B.Z. Dholkiya, **Use of PET resin and metakaolin in sustainable production of cement mortar**, *Mater. Today Proc.* (2022). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.193>.
- [2] R.A. Mahmood, N.U. Kockal, **Cementitious materials incorporating waste plastics: a review**, *SN Appl. Sci.* 2 (2020) 1–13. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03905-6>.
- [3] R. Sharma, P.P. Bansal, **Use of different forms of waste plastic in concrete - A review**, *J. Clean. Prod.* 112 (2016) 473–482. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.042>.
- [4] M. Hacini, A.S. Benosman, N. Kazi Tani, M. Mouli, Y. Senhadji, A. Badache, N. Latroch, **Utilization and assessment of recycled polyethylene terephthalate strapping bands as lightweight aggregates in Eco-efficient composite mortars**, *Constr. Build. Mater.* 270 (2021) 121427. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121427>.
- [5] S.S. CANELLAS, **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas.**, Mestr. Em Ciência Dos Mater. e Metal. Pontifícia Univ. Católica Do Rio Janeiro. (2005).
- [6] Ministério do Meio Ambiente, **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, [Http://Www.Mma.Gov.Br/Cidades-Sustentaveis/Residuos-Solidos/Politica-Nacional-de-Residuos-Solidos](http://www.Mma.Gov.Br/Cidades-Sustentaveis/Residuos-Solidos/Politica-Nacional-de-Residuos-Solidos). (2018).
- [7] N.L.R. et al MODRO, **Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET.**, *Rev. Matéria.* 14 (2009).
- [8] CEMPRE., **Pet: o mercado para reciclagem**, <http://Cempre.Org.Br/Artigo-Publicacao/Ficha-Tecnica/Id/8/Pet>. (2019).
- [9] A.L. MELLO, **Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa**, Dissertação de Mestrado em Eng. Ambiental e Urbana da Univ. Fed. Da Bahia. (2011).
- [10] D.. OLIVEIRA, **Uso de areia de PET na fabricação de concretos**, *Congr. Bras. Ciência e Tecnol. Em Resíduos e Desenvolv. Sustentável.* (2004).
- [11] C.A. Ruggerio, **Sustainability and sustainable development: A review of principles and definitions**, *Sci. Total Environ.* 786 (2021) 147481. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147481>.
- [12] Z. Ge, R. Sun, K. Zhang, Z. Gao, P. Li, **Physical and mechanical properties of mortar using waste**



- Polyethylene Terephthalate bottles**, Constr. Build. Mater. 44 (2013) 81–86. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.073>.
- [13] M.J. Islam, M.S. Meherier, A.K.M.R. Islam, **Effects of waste PET as coarse aggregate on the fresh and harden properties of concrete**, Constr. Build. Mater. 125 (2016) 946–951. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.128>.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)., NBR NM 248. **Agregados – Determinação da composição granulométrica**, Rio Janeiro. (2001).
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)., NBR NM 52. **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa aparente**, Rio Janeiro. (2002).
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)., NBR NM 45. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**, Rio Janeiro. (2006).
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)., NBR 7211. **Agregados para concreto – Especificação**, Rio Janeiro. (2009).
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)., NBR 13276. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência**, Rio Janeiro. (2016).
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)., NBR 7215. **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**, Rio Janeiro. (2019).
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)., NBR 7222 **Concretos e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**, Rio Janeiro. (2011).
- [21] N.H. Mohd Nasir, F. Usman, A. Saggaf, Saloma, **Development of composite material from Recycled Polyethylene Terephthalate and fly ash: Four decades progress review**, Curr. Res. Green Sustain. Chem. 5 (2022) 100280. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100280>.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

**AVALIAÇÃO DO MOMENTO CRÍTICO ELÁSTICO EM VIGAS CELULARES DE AÇO
SUBMETIDAS À FLEXÃO NO EIXO DE MAIOR INÉRCIA**

CARVALHO, Adriano Silva de¹; ROSSI, Alexandre²; MARTINS, Carlos Humberto³

¹ Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, adriano.ce7@gmail.com, 0000-0001-7286-6661

² Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, alexandre-rossi@ufu.br, 0000-0001-9590-1554

³ Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, chmartins@uem.br, 0000-0001-7342-5665

RESUMO

As vigas com aberturas sequenciais na alma em formato circular são chamadas de vigas celulares. Esse tipo de estrutura apresenta uma série de benefícios em relação às vigas de alma cheia, destacando-se principalmente a sua melhor razão resistência-peso. No entanto, as vigas celulares apresentam considerável susceptibilidade à falha por flambagem lateral com torção, sobretudo ao se considerar a utilização desses perfis para vencer grandes vãos. Diversas pesquisas buscaram avaliar o comportamento de estabilidade em vigas alveolares no passado, levando à possíveis adaptações para a obtenção do momento crítico elástico em vigas dessa natureza. Apesar disso, ainda não há consenso definitivo a respeito do assunto. Dessa forma, o presente trabalho pretende investigar a estabilidade lateral em vigas celulares submetidas à flexão, através da obtenção do momento crítico à FLT dessas estruturas e comparação com as propostas analíticas existentes. Busca-se ainda avaliar a influência dos parâmetros geométricos da seção transversal e das aberturas no momento crítico à FLT. Para atingir esse objetivo foi proposto um extenso estudo paramétrico, com 810 modelos em elementos finitos. Com o estudo foi possível observar que o momento crítico é influenciado principalmente pela esbeltez global do elemento e decresce à medida em que se considera alma e mesas mais esbeltas e aberturas celulares maiores.

Palavras-chave: vigas celulares; flambagem lateral com torção; método dos elementos finitos.

ABSTRACT

Beams with sequential web openings in a circular shape are called cellular beams. This type of structure presents a series of benefits when compared to plain-webbed beams, especially a better strength-to-weight ratio. However, cellular beams have considerable susceptibility to a failure mode called lateral-torsional buckling, especially when considering the use of these profiles to overcome large spans. Several research works sought to evaluate the stability behavior in perforated beams in the past, leading to possible adaptations to obtain the elastic critical moment in beams of this nature. Despite this, there is still no definitive consensus on the matter. Thus, the present work intends to investigate the lateral stability in cellular beams subjected to flexure, by obtaining the LTB critical moment of these structures and comparing it with the existing analytical proposals. It is also sought to evaluate the influence of the geometric parameters of the cross section and openings at the LTB critical moment. An extensive parametric study was proposed to achieve this goal, with 810 finite element models. With the study, it was possible to observe that the critical moment is mainly influenced by the global slenderness of the structure and decreases with the increase of web and flange slenderness and when larger openings are considered.

Keywords: cellular beams; lateral-torsional buckling; finite element method.

1. INTRODUÇÃO

As vigas celulares de aço apresentam aberturas em formato circular ao longo de sua alma (Figura 1). Esse tipo de estrutura é usualmente fabricado a partir de um perfil de alma cheia através de cortes em alta temperatura ao longo da alma e soldagem das partes, outrora seccionadas. Dentre as principais vantagens da utilização destes elementos em relação à perfis de alma cheia, destacam-se: maior rigidez à flexão, melhor razão resistência-peso, significativo apelo estético, economia de material e a possibilidade de vencer vãos maiores [1–4]. No entanto, dado o processo de fabricação ao qual

esse tipo de estrutura é submetido, o perfil resultante apresenta maior altura da seção transversal e descontinuidades sequenciais ao longo da alma. Dessa forma, de acordo com Nseir *et al.* [3] pode-se afirmar que a susceptibilidade à flambagem lateral com torção de vigas celulares é maior do que a de perfis de alma cheia, visto que a seção ao ser analisada como um todo, apresenta maior esbeltez. A flambagem lateral com torção ocorre em vigas cuja mesa comprimida não apresenta restrição lateral significativa [4,5]. Dessa forma, a estrutura tende a apresentar um deslocamento da mesa superior, aliado à uma rotação da seção, levando assim a estrutura ao colapso. De forma geral, o mecanismo de ocorrência da FLT foi amplamente estudado em vigas alveolares, sendo que os primeiros trabalhos sobre o tema buscaram compreender a ocorrência desse modo de falha em vigas com aberturas hexagonais. O estudo da FLT nestes elementos representou avanços significativos no entendimento do comportamento de estabilidade em perfis alveolares, destacando-se as pesquisas realizadas por Nethercot, Kerdal e Gietzelt [6–8]. Os autores destacaram que a obtenção do momento crítico em vigas com aberturas hexagonais, pode ser obtido considerando a formulação originalmente proposta para vigas convencionais de alma cheia, por meio de adaptações, sendo a principal delas, o cálculo das propriedades geométricas na linha central das aberturas.

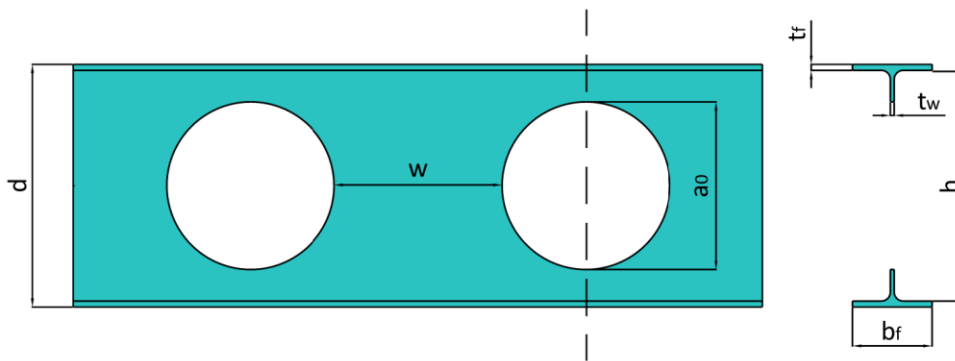


Figura 1 – Viga celular de aço e suas dimensões características.

O momento crítico elástico à FLT em vigas de alma cheia é determinado de acordo com a equação de Timoshenko [9] (Equação 1). No equacionamento, o autor considera algumas hipóteses básicas, dentre as quais destacam-se: aplicação de momento uniforme ao longo do elemento, vínculo de garfo e desconsideração de distorções na alma durante a deformação (seções planas permanecem planas).

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{L_b}\right)^2 \frac{EC_w}{GJ}} \quad (1)$$

Onde:

M_{cr} = momento crítico elástico à FLT (N.mm)

L_b = vão destravado da viga (mm)

E = módulo de elasticidade do aço (MPa)

I_y = momento de inércia no eixo de menor inércia (mm⁴)

G = módulo de elasticidade transversal do aço (MPa)

J = constante de torção (mm³)

C_w = constante de empenamento da seção (mm⁶)

Conforme mencionado, Kerdal e Nethercot [8] propuseram que para a determinação do momento crítico em vigas alveolares deve-se tomar o cálculo das propriedades geométricas no centro das aberturas. Dessa forma, o cálculo das propriedades apresentadas na Equação 1 pode ser efetuado conforme as Equações 2 e 3 [5].

$$I_y = \frac{t_f b_f^3}{6} + \frac{(h - a_0) t_w^3}{12} \quad (2)$$

$$C_w = I_y \frac{h^2}{4} \quad (3)$$

Onde:

t_f = espessura da mesa do perfil (mm)

b_f = largura da mesa do perfil (mm)

h = altura da alma do perfil (mm)

a_o = altura da abertura celular (mm)

t_w = espessura da alma do perfil (mm)

Para investigar a adequação dessa metodologia originalmente proposta para vigas com aberturas hexagonais, bem como verificar a influência dos parâmetros geométricos na obtenção do momento crítico elástico em vigas celulares, foi proposto um extenso estudo paramétrico em elementos finitos. Ao todo foram realizadas 810 simulações, contemplando diversos parâmetros que podem afetar o comportamento de estabilidade da estrutura. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é apresentar a influência desses parâmetros no momento crítico de vigas celulares e comparar os valores obtidos com a proposta analítica mais aceita na literatura para vigas alveolares.

2. MODELO NUMÉRICO

A obtenção do momento crítico elástico dos perfis analisados foi realizada por meio do software ABAQUS. O software é um pacote computacional destinado à análise de estruturas por meio do método dos elementos finitos (MEF) e permite por meio de um procedimento de perturbação linear, a estimativa da carga crítica (ponto de bifurcação) em estruturas rígidas. Neste tipo de análise, são obtidos autovalores e autovetores correspondentes à carga crítica da estrutura e à sua configuração deformada, respectivamente. Para se discretizar o modelo, foram utilizados elementos do tipo casca, os quais são utilizados geralmente para modelar estruturas onde a espessura do elemento é significativamente menor do que as outras dimensões (comprimento e largura). Esse é o típico caso de estruturas de paredes finas em geral, incluindo os tradicionais perfis I. No modelo foram adotados elementos do tipo S3 (elemento triangular) e S4R (elemento quadrilateral com integração reduzida). Vale ressaltar que a malha de elementos finitos foi criada de forma automática pelo programa, considerando a configuração livre dos elementos. Para se avaliar o desempenho da malha na obtenção do momento crítico elástico, foi efetuado um estudo de sensibilidade do tamanho de malha, o qual é apresentado na Figura 2.

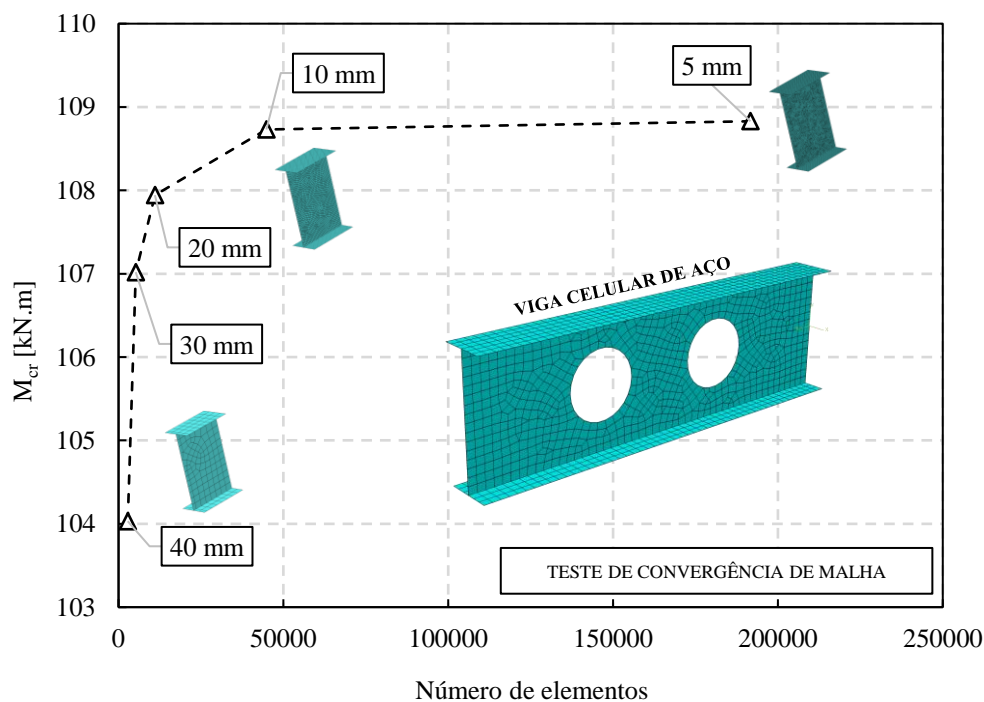


Figura 2 – Teste de convergência de malha.

Para a realização do teste foi considerado um modelo de viga celular padrão, com 6 metros de comprimento destravado e foi analisada a possibilidade de utilização de malhas com dimensões médias de 5, 10, 20, 30 e 40 milímetros. Observou-

se que convergência satisfatória foi atingida com a malha de 10 mm, apresentando um erro em relação ao resultado obtido com a malha de 5 mm de apenas 0.09%. No entanto, vale ressaltar que, com a utilização da malha de 10 mm, o modelo apresentou um número 4 vezes menor de elementos. Dessa forma o custo computacional associado é muito inferior se comparado à utilização da malha de 5 mm. Portanto, foi padronizado para todos os modelos do estudo paramétrico a utilização de malha livre com dimensões médias de 10 mm.

Como condição de contorno foi adotado o vínculo de garfo, usualmente aplicado em análises de flambagem em vigas [10–12]. Nesta situação são impedidos o deslocamento vertical das extremidades do apoio, bem como a rotação longitudinal das extremidades das mesas do perfil. A Figura 3 apresenta uma esquematização das restrições adotadas. Vale ressaltar que o deslocamento longitudinal no centroide da alma da estrutura foi impedido em apenas uma das extremidades, permanecendo livre na extremidade oposta.

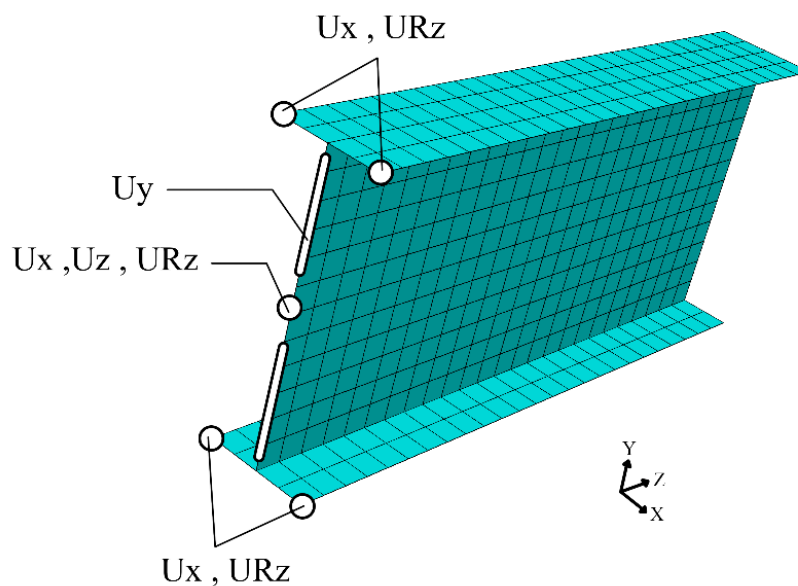


Figura 3 – Condições de contorno adotadas.

O aço utilizado nas análises possui módulo de elasticidade de 200 GPa e coeficiente de Poisson de 0.3. Quanto às condições de carregamento, buscou-se manter o modelo sob flexão pura, por meio da aplicação de um binário de forças nas extremidades das mesas do perfil. Dessa forma, submeteu-se a estrutura à flexão no eixo de maior inércia, visando a adequação às hipóteses básicas utilizadas na obtenção da formulação analítica para estimativa do momento crítico elástico (Equação 1) [9].

3. ESTUDO PARAMÉTRICO

Com o objetivo de estudar o efeito das propriedades geométricas da seção transversal e das aberturas, bem como da esbeltez global no momento crítico elástico de vigas celulares, foi traçado um extenso estudo paramétrico com 810 modelos em elementos finitos. Foram escolhidos 3 perfis laminados do tipo I (Tabela 1), os quais foram simulados em 30 comprimentos diferentes, entre 6 e 35 metros. Além disso variou-se a expansão do alvéolo celular e do montante da alma, tendo sido simulados 3 diferentes valores para cada um dos parâmetros mencionados. O fluxograma apresentado na Figura 4 resume a parametrização adotada.

Tabela 1 – Propriedades geométricas dos perfis analisados.

| Perfil | d_0 (mm) | b_f (mm) | t_w (mm) | t_f (mm) |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| W310x38.7 | 310 | 165 | 5.8 | 9.7 |
| W410x67.0 | 410 | 179 | 8.8 | 14.4 |
| W530x109.0 | 539 | 211 | 11.6 | 18.8 |

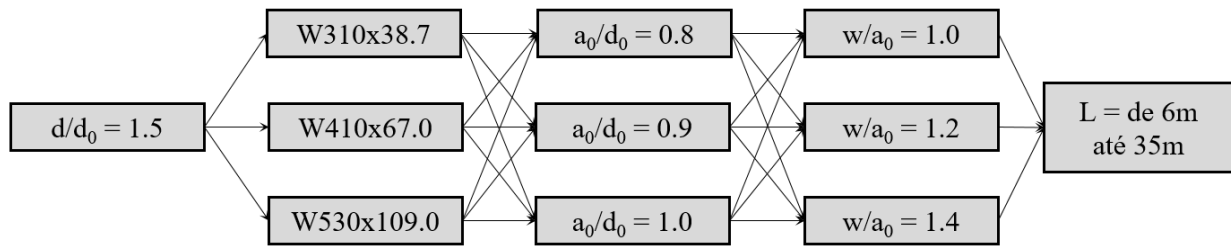


Figura 4 – Fluxograma da análise paramétrica efetuada.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos com as análises em elementos finitos são apresentados na Figura 5. Como esperado, perfis com menor esbelteza da alma e das mesas apresentaram maiores valores para o momento crítico elástico. Observa-se que com o aumento da esbelteza global da estrutura, a diferença entre os resultados obtidos para os perfis diminui. Observa-se que os parâmetros da seção transversal possuem grande influência na obtenção do momento crítico elástico, enquanto os parâmetros dos alvéolos celulares apresentaram uma influência menor. Isto é perceptível, visto que a alteração nos valores dos parâmetros alveolares foi responsável pela pequena dispersão dos pontos que compõem a “curva” de flambagem de cada um dos perfis, enquanto os parâmetros da seção transversal alteraram significativamente a posição da “curva” e os valores obtidos para o momento crítico.

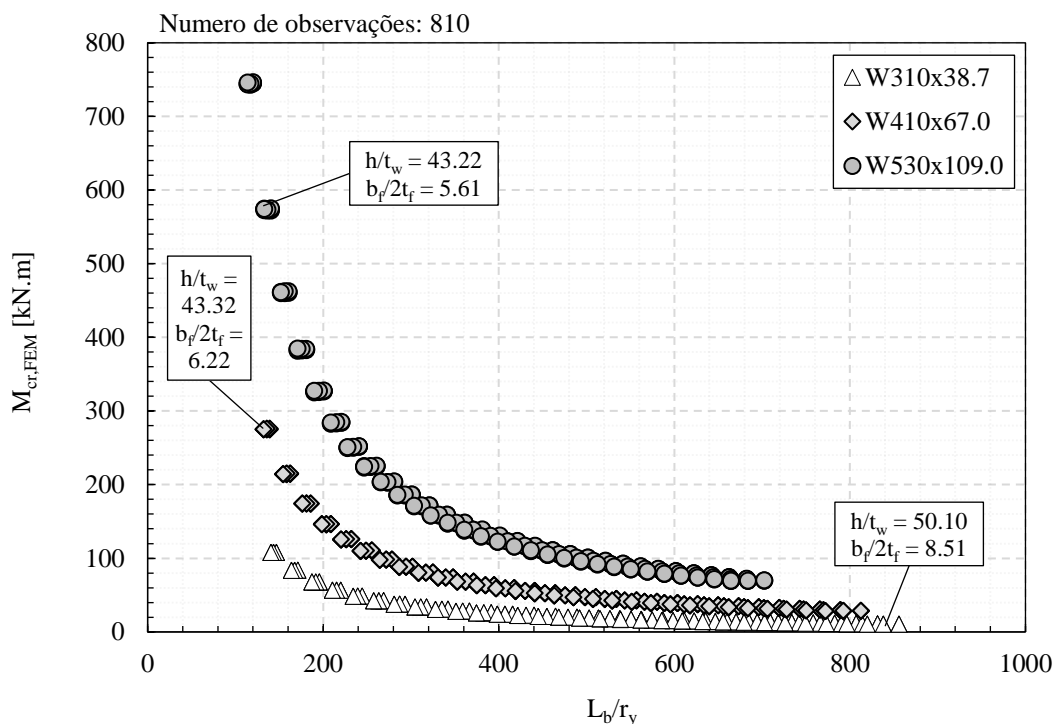


Figura 5 – Curvas de flambagem dos perfis analisados.

A Figura 6 apresenta a influência dos parâmetros do alvéolo celular no momento crítico elástico para um dos modelos desenvolvidos. Vale ressaltar que, para se analisar a influência de cada parâmetro realizou-se a fixação do valor dos outros parâmetros envolvidos na análise. É possível perceber que à medida em que se considera valores maiores para a abertura celular, ocorre uma diminuição no momento crítico elástico. Além disso, observa-se que o aumento dos valores para o montante da alma w acarreta em um aumento do momento crítico elástico. Vale destacar que apesar da tendência de diminuição ou acréscimo no momento crítico, essa influência não ocorre de modo linear para vigas celulares, conforme pode ser observado.

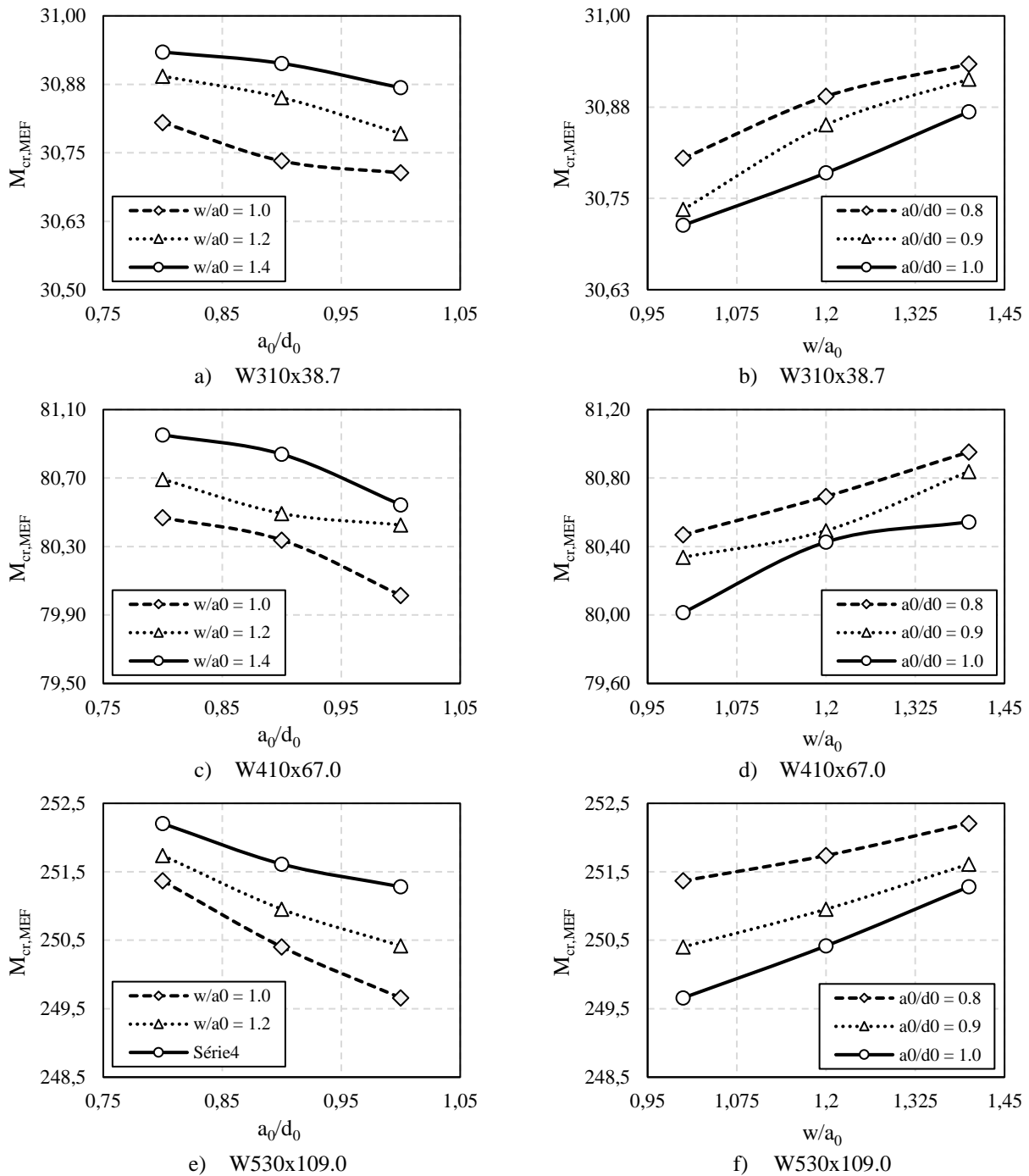


Figura 6 – Influência dos parâmetros das aberturas no momento crítico elástico.

A comparação entre os resultados numéricos obtidos no software ABAQUS e os resultados analíticos obtidos com a adaptação da equação do momento crítico de Timoshenko [9] é apresentada na Figura 7. Observa-se a ocorrência de valores a favor da segurança para os perfis analisados. Nota-se ainda que, à medida em que se aumenta a esbelteza das vigas analisadas, o resultado obtido com a equação do momento crítico elástico adaptada apresenta resultados cada vez mais conservadores, alcançando valores até 7.43% mais conservadores do que o resultado numérico obtido com o método dos elementos finitos. Destaca-se também a considerável dispersão dos dados em torno do valor médio obtido, que foi de 3.88%. Isso pode ser observado ao se analisar o desvio padrão obtido para o conjunto de dados, que foi de 1.59%. Observa-

se ainda que, ao se considerar um perfil com menor esbelteza da seção transversal (alma e mesas) obtém-se resultados mais conservadores do que aqueles obtidos para os perfis com alma e mesas mais esbeltas.

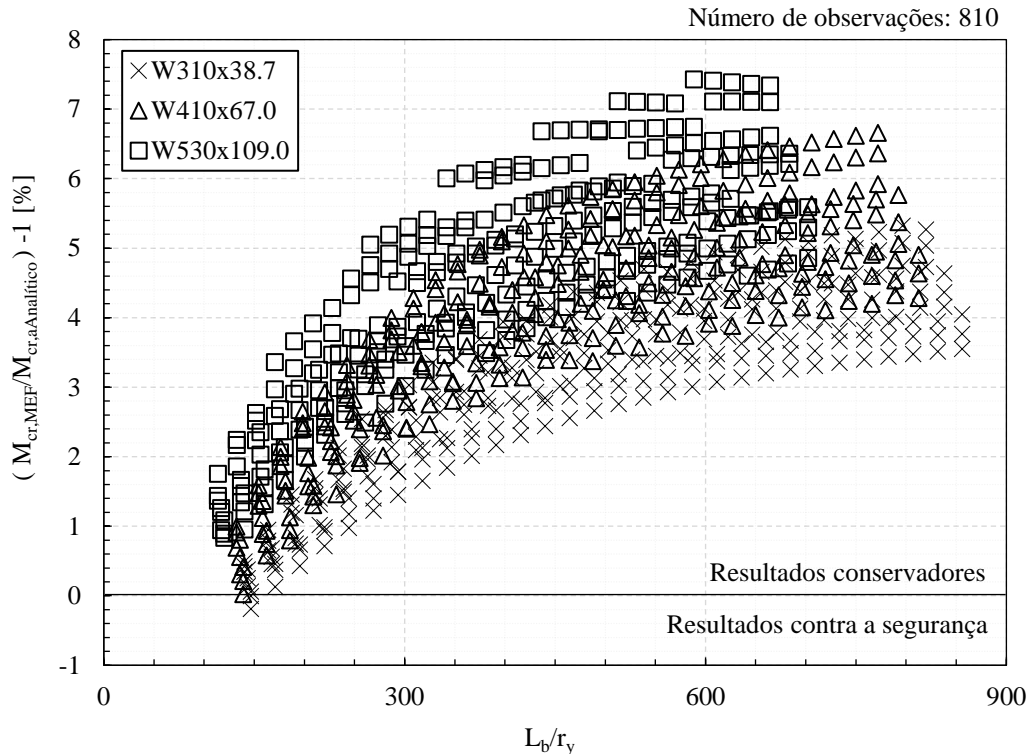


Figura 7 – Curvas de flambagem dos perfis analisados.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar os efeitos dos parâmetros geométricos da seção transversal e das aberturas no momento crítico elástico à FLT de vigas celulares. Por meio de 810 análises em elementos finitos foi possível determinar a influência desses parâmetros, bem como comparar os resultados obtidos com a solução analítica obtida pela adaptação da metodologia de cálculo destinada às vigas de alma cheia. Por meio dos resultados expostos no tópico 4 deste trabalho, foi possível observar que:

- Com o aumento da esbelteza global do perfil, ocorre um decréscimo no momento crítico elástico. Dessa forma, à medida em que se considera vãos maiores e perfis com menos altura, diminui-se a capacidade resistente dos elementos;
- As curvas de flambagem dos perfis tendem a se aproximar com o aumento da esbelteza, de modo que a diferença entre os valores obtidos para o momento crítico elástico se torna cada vez menor;
- Os parâmetros geométricos da seção transversal possuem grande influência no momento crítico elástico em vigas celulares. Observou-se que à medida em que se considera perfis com menor esbelteza da alma e das mesas, obtém-se valores mais altos para o momento crítico dos modelos analisados.
- A presença dos alvéolos influencia significativamente o momento crítico elástico em vigas celulares. No entanto a sua influência é menor do que a dos parâmetros geométricos da seção transversal. Observou-se que à medida em que se considera alvéolos maiores ocorre uma redução no momento crítico elástico.
- Ao se alterar o espaçamento dos alvéolos, altera-se a largura do montante da alma. Observou-se que vigas celulares com maiores larguras do montante da alma apresentam maior resistência;
- A comparação com a metodologia analítica mais utilizada no dimensionamento de vigas alveolares, apresentou bons resultados. De modo geral, os valores são conservadores, sendo que o conservadorismo dos resultados torna-se mais pronunciado com o aumento da esbelteza dos elementos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Araucária e ao CNPq pelo incentivo à execução deste projeto de pesquisa

REFERÊNCIAS

- [1] Erdal F, Saka MP. **Ultimate load carrying capacity of optimally designed steel cellular beams**. J Constr Steel Res 2013;80:355–68. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.10.007>.
- [2] Ellobody E. **Nonlinear analysis of cellular steel beams under combined buckling modes**. Thin-Walled Struct 2012;52:66–79. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2011.12.009>.
- [3] Nseir J, Lo M, Sonck D, Somja H, Vassart O, Boissonnade N. **Lateral torsional buckling of cellular steel beams**. Struct Stab Res Counc Annu Stab Conf 2012 2012:484–98.
- [4] Sonck D, Belis J. **Lateral-torsional buckling resistance of cellular beams**. J Constr Steel Res 2015;105:119–28. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.11.003>.
- [5] Ferreira FPV, Rossi A, Martins CH. **Lateral-torsional buckling of cellular beams according to the possible updating of EC3**. J Constr Steel Res 2019;153:222–42. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.10.011>.
- [6] Nethercot DA KD. **Lateral-torsional buckling of castellated beams**. J Struct Eng 1982;53–61.
- [7] Gietzelt R ND. **Biegedrillknicklasten von Wabenträgern**. Stahlbau 1983;11:346.
- [8] Kerdal D, Nethercot DA. **Failure modes for castellated beams**. J Constr Steel Res 1984;4:295–315. [https://doi.org/10.1016/0143-974X\(84\)90004-X](https://doi.org/10.1016/0143-974X(84)90004-X).
- [9] Timoshenko SP, Gere JM. Theory of elastic stability. Courier Corporation; 2009.
- [10] Rossi A, Martins CH, Nicoletti RS, de Souza ASC. **Reassessment of lateral torsional buckling in hot-holed I-beams**. Structures 2020;26:524–36. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.04.041>.
- [11] Rossi A, Ferreira FPV, Martins CH, Mesacasa Júnior EC. **Assessment of lateral distortional buckling resistance in welded I-beams**. J Constr Steel Res 2020;166. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.105924>.
- [12] Carvalho AS, Rossi A, Martins CH. **Assessment of lateral-torsional buckling in steel I-beams with sinusoidal web openings**. Thin-Walled Struct 2022;(under rev:109242. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.109242>.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DE CUSTO PARA EXECUÇÃO DE REVESTIMENTO ARGAMASSADO DE CAMADA ÚNICA EM UMA OBRA RESIDENCIAL UNIFAMILIAR NA CIDADE DE SOBRAL-CEARÁ

PONTE, Amanda¹; GOMES, Isabelle²; TEXEIRA, Karla³; NASCIMENTO, Simão⁴

¹ Uninta, Sobral, Brasil, amandarayzane@hotmail.com, 0000-0002-1364-7335

² Uninta, Sobral, Brasil, isabele2466@gmail.com

³ Uninta, Itapipoca, Brasil, karlarayane.kr.kr@gmail.com

⁴ Uninta, Sobral, Brasil, simaopedro.9991@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo de caso feito a partir do acompanhamento da etapa do serviço de reboco em uma obra de residência unifamiliar na cidade de Sobral, Ceará conceituando-o e analisando os custos para a realização da atividade. Por demandar mais tempo e ser corriqueira nas construções, a execução de emboço de argamassa necessita de um acompanhamento dos custos na sua produção, porém a maioria das empresas que efetuam esse serviço pouco se atentam para tal. Desse modo, esta pesquisa expõe coeficientes e preços baseados no mercado de insumos da construção civil da região em que se desenvolveu, além de medir a produtividade dos operários de maneira a considerar as diferentes variáveis impostas aos mesmos durante o exercício de suas funções na referida tarefa, revisando as divergências dos resultados obtidos com a composição de preço unitário da tabela SEINFRA 026.1 no item emboço com argamassa de reboco e areia s/ peneirar, traço 1:4. Por fim, levando em conta todos os coeficientes encontrados referentes ao serviço, elabora-se uma composição de preço unitário propondo um novo parâmetro de referência de gerenciamento de insumos e índices de produtividade para realização de reboco de argamassa em obras de residência unifamiliar na cidade de Sobral, Ceará.

Palavras-chave: emboço; insumos; coeficientes; produtividade.

ABSTRACT

This work presents a case study based on the monitoring of the stage of this service in a single-family residence project in the city of Sobral, Ceará, conceptualizing it and analyzing the costs for carrying out the activity. As it requires more time and is commonplace in construction, the execution of plastering mortar requires a study of the costs of its production, however most companies that perform this service pay little attention to this. In this way, this research assigns coefficients and prices based on the civil construction input market in the region in which it developed, in addition to measuring the productivity of workers in order to consider the different variables imposed on them during the exercise of their functions in that task, reviewing the divergences in the results obtained with the composition of the unit price of table seinfra 026.1 in item plastering with mortar cement and sand without peneirar, trace 1: 4. Finally, taking into account all the coefficients found for the service studied, a composition of unit price is elaborated, proposing a new benchmark for the management of inputs and productivity indexes for the rendering of mortar plasters in single-family residence works in the city. from Sobral, Ceará.

Keywords: Plaster. Inputs. Coefficient. Productivity

1. INTRODUÇÃO

Na cidade de Sobral-Ceará, os revestimentos de paredes feitos com argamassa são os mais utilizados em obras residenciais unifamiliares. A preferência pela execução da referida tarefa se dá pela disponibilidade dos materiais e mão de obra na região, contudo, a maioria das empresas que realizam esse serviço, pouco estudam os seus custos de produção, impossibilitando um controle de gastos com os insumos essenciais para essa fase da construção.

A ferramenta mais usual para a mensuração de custo unitário, dimensionamento de equipes e o gerenciamento de materiais que serão demandados no decorrer da etapa de revestimentos argamassados, são as composições de preço unitário de tabelas orçamentárias. Porém, esses instrumentos utilizam coeficientes de produtividade para os operários e consumo de materiais obtidos a partir de médias gerais, não levando em conta especificidades recorrentes nos canteiros de obras.

Nesse contexto Cardoso (1993) exalta a importância da medição da produtividade dos operários nos canteiros de obras afirmando que controlar a produção significa acompanhar, para garantir que todas as providências requeridas estejam em perfeita execução dentro dos prazos e quantidades previstas. Contudo, existe um problema crônico quanto tal mensuração que está relacionado aos coeficientes usados para realizar tais aferições. Segundo Coêlho (2003), a deficiência consiste na consideração de índices iguais em situações diferentes.

Um dos objetivos de estudo deste trabalho foi a forma de como as variáveis impostas aos colaboradores no momento da realização da atividade influem em suas respectivas produtividades. Tornou-se possível ponderar tais variáveis para obter um índice que melhor reflita o desempenho de pedreiros e ajudantes em obras de residências unifamiliares nesta fase. Foi observado também o consumo de materiais por área de emboço produzida e considerando a formulação do traço utilizado para o preparo da argamassa, possibilitou-se medir o custo de matéria-prima por m² de camada executada. Com isso foi desenvolvida uma composição de preço unitária referente ao custo real da referida etapa no empreendimento acompanhado, considerando os índices obtidos em relação aos profissionais que realizaram o serviço.

A culminância das observações e análises citadas resultou em propor um novo parâmetro de comparação para o dimensionamento de equipes, gestão de insumos e composição de preço unitário que possam se aproximar mais do que ocorre em obras de residências unifamiliares na cidade de Sobral-Ceará, orientando os profissionais da construção civil quanto à aplicação de informações referentes a execução do serviço de emboço em detrimento à realidade encontrada em campo.

2. METODOLOGIA

Para a elaboração deste estudo foi implementada a metodologia de estudo de caso, onde as observações de campo foram o principal instrumento para o desenvolvimento da pesquisa, que se baseou por análises comparativas dos resultados obtidos in loco com dados de fonte da tabela orçamentária SEINFRA 026.1.

2.1 Métodos de procedimento

Inicialmente foram observadas as atividades dos operários na execução de revestimentos argamassados de camada única em uma obra residencial unifamiliar na cidade de Sobral, Ceará. A partir das observações coletaram-se dados de produtividade dos colaboradores e do consumo de materiais, para que se possibilitasse a análise com ponderações em relação as diferentes situações de trabalho encontradas durante a realização do serviço, afim de aferir o custo unitário da atividade considerando todos os insumos utilizados. Como modelo de comparação de resultados utilizou-se o item C1221 – EMBOÇO C/ ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA S/ PENEIRAR, da tabela SEINFRA026.

2.2 Amostragem e coleta de dados

Durante 7 dias foram analisados 2 pedreiros e 4 serventes, o tempo demandado dos profissionais para execução da camada única de revestimento, a dosagem adotada na construção que serviu de amostra foi de 1:1:3, em que era usado 1 saco de cimento Portland de 50 kg, com 1 medida de arisco e 3 de areia média, a relação água cimento de 0,5. As medidas dos agregados eram feitas em padiolas de 0,45x0,35x0,255 m, totalizando um volume de 0,04m³. Desde o início da aplicação da argamassa na parede, sarrafeamento, desempenamento e camurçamento da superfície. Em seguida foi possível avaliar o desempenho dos ajudantes no preparo da argamassa, transporte e auxílio ao pedreiros durante a realização do serviço. Foram colhidos os resultados e usada a média de produtividade final diária, visto que o rendimento dos operários oscilava no decorrer da jornada de trabalho. Com tais informações foi possível aferir a produtividade dos colaboradores, formulando assim uma análise quantitativa dos dados. Contudo, se fez notório a oscilação do rendimento dos operários devido os diferentes locais de aplicação do revestimento, bem como em situações como o trabalho a níveis que necessitassem do uso de andaimes. Logo, a média geral de produtividade foi obtida por uma ponderação que levou em conta a quantidade de área revestida em cada situação encontrada na execução do serviço

Com o intuito de aferir o consumo dos materiais usados para a execução da atividade, foi observado o rendimento dos traços de argamassa de acordo com a área de revestimento produzida. A análise do custo de cada insumo necessário para fazer a mistura foi feita individualmente, dividindo a quantidade de cada um conforme o traço adotado na obra. O valor de mercado associado de cada material foi obtido a partir de cotações com fornecedores da cidade Sobral, Ceará, onde foi desenvolvida a pesquisa.

2.2 Apresentação dos índices, coeficientes e composição de preço unitária da tabela seinfra para o serviço de emboço c/ argamassa de cimento e areia s/ peneirar, traço 1:4

Foi analisado o item C1221: EMBOÇO C/ ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA S/ PENEIRAR, TRAÇO 1/4, esmiuçando as informações presentes em sua composição de preço unitária, considerando os índices, rendimentos e materiais que a mesma apresenta.

Vale ressaltar que a tabela utilizada considera 85,20% de encargos sociais em relação ao valor pago à mão-de-obra, contendo então desoneração, a qual funciona como uma diminuição na consideração dos valores pagos de recursos não imediatos aos colaboradores, afim de diminuir o custo dos serviços e impulsionar o mercado da construção civil. No arranjo de preço real, o consumo de materiais e parte do valor gasto com servente estão contidos dentro de uma outra composição que contempla somente a produção de argamassa usada. Para melhor entendimento nesse estudo, foi distinguido todos os insumos em uma única estruturação. A medição unitária da atividade é em m², logo todos os coeficientes irão transformar a produtividade e o consumo de materiais para essa produção. Analisando a composição, verifica-se que o item prevê que um pedreiro leva 0,6 horas para produzir 1m² de reboco e que o servente necessita de 0,8 horas para realizar a mesma atividade. Isso significa que é essencial ter mais ajudantes do que oficiais para o andamento adequado desta tarefa e levando esse fator proporcionalmente, é notório que são necessários 1,33 serventes para cada profissional. O valor final unitário de mão de obra é encontrado pelo produto entre a quantidade de tempo demandado para a produção de 1m² de reboco e os respectivos preços pagos aos operários, de acordo com sua função, por hora trabalhada. Para chegar ao valor destinado aos trabalhadores por unidade produzida são somados os dois produtos. Como a tabela considera os encargos sociais dos colaboradores, o preço da hora trabalhada adotado leva em consideração os impostos pagos ao governo pela assinatura da carteira de trabalho do funcionário, além de seus direitos trabalhistas. Retirando essa parcela, percebe-se que a hora paga efetivamente ao pedreiro é de R\$ 9,26 e ao servente R\$ 7,13.

Tabela 1 - Produtividade seinfra para o serviço emboço c/ argamassa de cimento e areia s/peneirar traço 1:4

| PRODUTIVIDADE DOS OPERÁRIOS DE ACORDO COM A TABELA SEINFRA | | |
|--|-----------------------|------------------------------|
| FUNÇÃO | TEMPO GASTO POR | ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE |
| | PRODUÇÃO UNITÁRIA (H) | UNITÁRIO (M ² /H) |
| SERVENTE | 0,8000 | 1,2500 |
| PEDREIRO | 0,6000 | 1,6667 |

Fonte: Própria (2020).

A tabela 1 transforma o tempo gasto para a produção de uma unidade de área por hora, dessa maneira têm-se o parâmetro que define a quantidade de reboco que um pedreiro e servente, na sua respectiva proporção, conseguem desenvolver por variação de tempo.

Na formulação de preço apresentada, a argamassa é considerada como sendo composta por areia média (agregado miúdo) e cimento Portland (aglomerante), os coeficientes de rendimento e preços adotados para os materiais pela tabela SEINFRA são obtidos a partir de médias gerais, oriundas de pesquisas de mercado no estado do Ceará. Esmiuçando a parte de materiais da composição, são necessários 0,0243 m³ de areia média e 7,3 kg de cimento Portland para a produção unitária do serviço. Faz-se notório os valores atribuídos para o custo dos insumos, sendo o mesmo em R\$ 51,00 para o m³ agregado e R\$ 0,46 para o kg aglomerante. Assim como na mão de obra, a soma dos produtos entre os respectivos coeficientes e quantidades consideradas para cada elemento, resultará no custo unitário da matéria-prima. No mercado de insumos da construção civil na região de Sobral, Ceará o cimento Portland é vendido em sacos de 50kg e a areia média é entregue na quantidade de 12m³ por caminhões basculantes. Na tabela 2 estão expostos os valores de venda desses produtos nas quantidades acima citadas levando em consideração o preço unitário adotado pela tabela SEINFRA 026.1.

Tabela 2 - Preço das quantidades usualmente encontradas no mercado da região de Sobral, Ceará considerando o valor da unidade de medida do material adotado pela SEINFRA.

| VALOR DOS MATERIAIS USADOS EM QUANTIDADES USUAIS | | | | |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------|
| MATERIAL | PREÇO UNITÁRIO ADOTADO PELA SEINFRA | QUANTIDADE USUAL VENDIDA NO MERCADO | UNIDADE DE MEDIDA | PREÇO TOTAL |
| AREIA MÉDIA | 51,00 | 12 | M ³ | 612,0000 |
| CIMENTO PORTLAND | 0,46 | 50 | KG | 23,0000 |

Fonte: Própria (2020).

2.3 Levantamento dos insumos e coeficientes

O estabelecimento do consumo de materiais por m² foi possível medindo a quantidade de m² que um traço rendia na obra, para isso era inspecionada a área produzida ao fim de cada traço. A dosagem adotada na construção que serviu de amostra foi 1:1:3, tendo a relação água/cimento adotada em 0,5. As medidas dos agregados eram feitas em padiolas de 0,45x0,35x0,255 m, totalizando um volume de 0,04m³. A composição da argamassa adotada no caso estudado se difere da encontrada no item da tabela SEINFRA 026.1 analisado anteriormente neste trabalho, apesar de conterem a mesma quantidade de agregado miúdos. O traço usado em obra substituiu uma medida de areia média por arisco, que é também um agregado miúdo, mas de granulometria mais fina que confere uma trabalhabilidade maior a argamassa lhe atribuindo uma melhor consistência. O gráfico 1 mostra as oscilações média de consumo de argamassa.

Gráfico 1 - Gráfico de representação da média de área produzida de reboco por traço de argamassa.



Fonte: Própria (2020).

Foram consideradas as médias diárias finais de produção de reboco por traço de argamassa e fez-se notório o valor de 9,7 m²/traço de argamassa, proporcionalmente percebeu-se que eram necessários 10% do volume total da mistura para a conclusão de 1m² de superfície. Para descobrir o valor gasto com os materiais em cada traço de argamassa, foram inicialmente cotados os preços dos produtos nos fornecedores da empresa executante e, em seguida, os mesmos foram aplicados em cima das quantidades usadas na dosagem para depois encontrar o valor atribuído na produção unitária do serviço de emboço.

Tabela 3 - Preço dos materiais usados nos preparos de argamassa de fornecedores locais

| VALOR DOS MATERIAIS E EQUIPAMENTOS COTADOS COM FORNECEDORES LOCAIS | | | | |
|--|-----------------|----------------------|-------------------|----------------|
| MATERIAL | PREÇO DA PORÇÃO | QUANTIDADE DA PORÇÃO | UNIDADE DE MEDIDA | PREÇO UNITÁRIO |
| AREIA MÉDIA | 350,0000 | 12,0000 | M³ | 29,1667 |
| ARISCO | 380,0000 | 12,0000 | M³ | 31,6667 |
| CIMENTO PORTLAND | 23,0000 | 50,0000 | KG | 0,4600 |
| BETONEIRA ELÉTRICA | 360,0000 | 720,0000 | H | 0,5000 |

Fonte: Própria (2020).

Tabela 4 - Valor gasto por m² de reboco produzido com materiais e equipamentos para produção da argamassa.

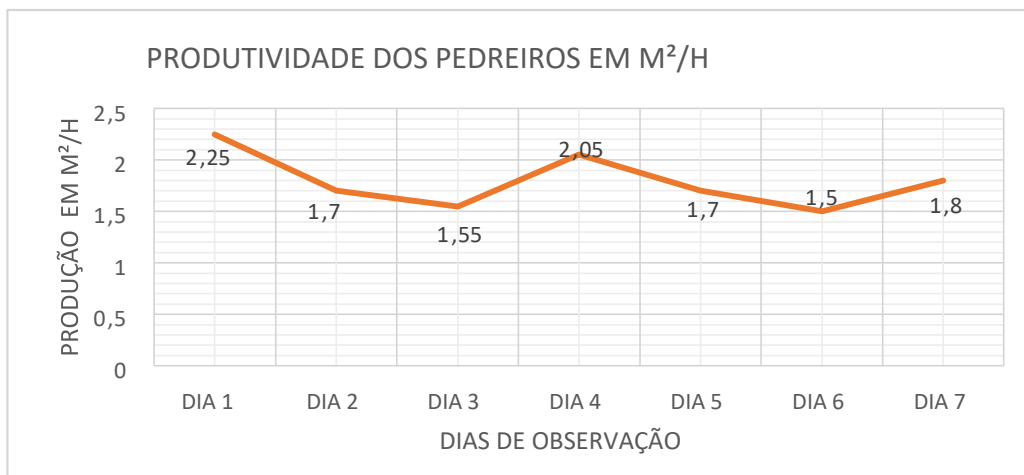
| VALOR GASTO COM MATERIAIS E EQUIPAMENTOS POR M² | | | | |
|---|----------------|-------------|---------|--------------------|
| MATERIAL | PREÇO UNITÁRIO | COEFICIENTE | UNIDADE | VALOR GASTO POR M² |
| AREIA MÉDIA | 29,1667 | 0,0120 | M³ | 0,3500 |
| ARISCO | 31,6667 | 0,0040 | M³ | 0,1267 |
| CIMENTO PORTLAND | 0,4600 | 5,0000 | KG | 2,3000 |
| BETONEIRA ELÉTRICA | 0,5000 | 0,2000 | H | 0,0500 |
| TOTAL DE MAREIAIS | | | | 2,8267 |

Fonte: Própria (2020).

Nas tabelas 3 e 4 são atribuídos os valores gastos na produção da argamassa, na quantidade necessária para 1 m² de reboco. Foram consideradas as porções de cada material contidas na dosagem utilizada na obra, o valor do aluguel da betoneira por hora e os pressupostos indicados sobre a porcentagem do volume necessário de mistura para a realização da medida unitária da camada. Vale ressaltar que a tabela não está considerando os custos de transportes na obra e as perdas de produção.

Para indicar a produtividade dos oficiais, a fim de calcular um coeficiente para a mesma, eram medidas as áreas de reboco produzida, dividindo-as pela quantidade de tempo em horas que foi necessário para tal. O quociente dessa operação resultava em parâmetro de desenvolvimento dos pedreiros. Foi levado em consideração o tempo gasto desde o início da aplicação da argamassa na parede, até o processo de camurçamento.

Gráfico 2 - Gráfico de representação da média de produtividade dos pedreiros em cada dia observado.



Fonte: Própria (2020).

Enquanto as produções médias dos pedreiros puderam ser representadas no gráfico 2, os serventes tiveram seus índices medidos de acordo com a quantidade necessária para abastecer com argamassa os oficiais. Notou-se que para dois profissionais eram necessários 4 operários, sendo uma metade para o transporte e a outra efetuando a mistura, porém os que estavam na produção da argamassa conseguiam entregar traços para abastecer quatro pedreiros sem haver falta ou espera, assim pode-se considerar matematicamente que eram necessários 1,5 ajudantes por profissional, logo a produtividade deste funcionário deverá ser considerada 50% menor. Vale a ressalva de que a atuação de serventes em betoneira é considerada como desvio de função, pois de acordo com as NR12 e NR18, a operação desse equipamento deve ser realizada por profissional específico e treinado para tal. Partindo dos pressupostos acima, foram atribuídos os coeficientes de produtividade para os colaboradores executante do serviço considerando os sete dias acompanhados, em que se observou uma média geral de 1.76m²/h, o que equivale a 0,56h para a produção de 1m². Ressalta-se que a construtora que executou a obra em que se desenvolveu o meio da pesquisa paga a hora trabalhada dos pedreiros a R\$ 10,00 e dos serventes a R\$ 5,00. Apesar da consideração da média de produtividade durante o tempo observado, é perceptível a oscilação do rendimento dos operários durante os dias em que foram acompanhados, nisso abre-se campo para mais uma análise: como as variáveis impostas aos trabalhadores influem no desenvolvimento do serviço.

O aspecto da produtividade apresentou oscilações durante os dias de observação. A amostra de dados teve um desvio padrão de 0,27, logo é perceptível a variação entre os dados e a média geral entre os referidos.

Tabela 5 - Ponderação das áreas observadas

| PONDERAÇÃO DO ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE A PARTIR DO LOCAL DE APLICAÇÃO | | |
|--|--|--|
| PRODUTIVIDADE (M ² /H) | LOCAL E CONDIÇÃO DA APLICAÇÃO | PONDERAÇÃO DAS ÁREAS EM RELAÇÃO AO TOTAL DE PAREDES A SEREM REVESTIDAS |
| 2.25 | MURO/TRABALHO A NÍVEL DO PISO INTERNO/TRABALHO A | 22.00% |
| 1.75 | NÍVEL DO PISO INTERNO/TRABALHO EM | 38.00% |
| 1.525 | ANDAIMES | 13.00% |
| 2.05 | ÁREAS EXTERNAS DA CASA/TRABALHO A NÍVEL DO PISO | 6.00% |

Fonte: Própria (2020).

A tabela 5 mostra que o trabalho em altura é menos produtivo. Em locais internos também se tem uma menor produtividade, isso por conta de que dentro da casa deve ser garantida a esquadria das paredes. Obteve-se assim uma média de 1.48m²/h para o coeficiente de desenvolvimento dos pedreiros, o que significa que os mesmos precisam de 0,68 horas para realizar a produção unitária do serviço. Com isso observa-se que o rendimento calculado levando em conta as diversas situações, traz uma taxa de 20% mais lentidão para o desenvolvimento do processo quando comparado com o índice calculado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição de preço desenvolvida para a obra

Após as análises, foi possível indicar todos os coeficientes necessários para a formulação de uma composição de preço unitário própria para a execução do serviço de reboco na obra acompanhada.

Tabela 6 - Composição de preço unitária do custo de produção do revestimento tipo reboco de argamassa.

| EMBOÇO TRAÇO 1:1:3 | | CIMENTO, ARISCO E AREIA MÉDIA S/ PENEIRAR, | | | |
|---------------------------|----------------|--|---------|----------------|--|
| Preço Adotado: 24,9216 | | | | Unid: M2 | |
| Descrição | Unidade | Coeficiente | Preço | Total | |
| MAO DE OBRA | | | | | |
| SERVENTE | H | 1,0200 | 9,2600 | 9,4452 | |
| PEDREIRO | H | 0,6800 | 18,5200 | 12,5936 | |
| TOTAL MAO DE OBRA | | | | 22.0388 | |
| MATERIAS | | | | | |
| AREIA MÉDIA | M ³ | 0,0120 | 29,6777 | 0,3561 | |
| ARISCO | M ³ | 0,0040 | 31,6667 | 0,1267 | |
| CIMENTO PORTLAND | KG | 5,0000 | 0,4600 | 2,3000 | |
| TOTAL MATERIAIS | | | | 2.7828 | |
| EQUIPAMENTOS | | | | | |
| BETONEIRA | H | 0,2000 | 0,5000 | 0,1000 | |
| ELÉTRICA | | | | | |
| TOTAL EQUIPAMENTOS | | | | 0,1000 | |
| Total Simples | | | | 24,9216 | |
| Encargos | | | | INCLUSOS | |
| BDI | | | | 0,00 | |
| TOTAL GERAL | | | | 24,9216 | |

Fonte: Própria (2020).

Na tabela 6 percebe-se que há divergências da composição da SEINFRA referente ao serviço de REBOCO C/ ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA S/ PENEIRAR, TRAÇO 1:4 que vão desde os coeficientes e preços adotados de cada componente e consequentemente do custo total da atividade.

3.2 Análise das divergências entre a composição formulada e a da SEINFRA, no item C3409

De início é perceptível que os valores de custos unitários encontrados são diferentes, a SEINFRA 026.1 chega ao resultado de R\$ 25,86 enquanto a composição estruturada neste trabalho chega ao valor de R\$ 24,92. O tempo necessário para a realização de 1m² de reboco apresenta divergência, enquanto a tabela da secretaria de infraestrutura do Ceará considera 0,6 h, a composição desenvolvida nesta pesquisa atribui o período de 0,68 h, uma diferença percentual de 13,33%, que se reflete também nos coeficientes adotados para os serventes, onde a fonte estadual atribui 0,80 h e a outra 1,02 h. O valor total da mão de obra avista uma assimetria em 3,5%. Vale ressaltar a diferença dos traços de argamassa nas duas formulações, ainda que o volume seja o mesmo, o arisco é mais caro que a areia, além disso o estudo de custos deste trabalho leva em conta o aluguel da betoneira utilizada para a produção da mistura. Analisa-se que os materiais apresentam menor coeficiente de utilização que os valores elegidos pela SEINFRA 026.1, sendo o fator mais oneroso do seu item em relação a composição deste trabalho a quantidade de cimento atribuída, onde a diferença percentual dos coeficientes é de 68,3%. O total de custos com matéria-prima na tabela elaborada pelo governo estadual é de R\$ 4,59 enquanto por esta pesquisa é de R\$ 2,78. Em uma visão geral, o serviço de EMBOÇO C/ ARGAMASSA DE AREIA E CIMENTO S/ PENEIRAR, da SEINFRA 026.1, é lucrativo e apresenta uma taxa de 3,63% de ganho no serviço, tendo um valor líquido de R\$ 0,94, porém seus coeficientes de produtividade apresentam-se defasados para obras residenciais unifamiliares na cidade de Sobral, Ceará.

4. CONCLUSÃO

Analisando o consumo de materiais foi notório que a tabela da Secretaria de infraestrutura do estado do Ceará considera um maior consumo de argamassa por unidade de emboço produzida, além de estabelecer valores para os agregados mais onerosos que os encontrados efetivamente no mercado de materiais da construção civil da cidade de Sobral, Ceará. O resultado final do comparativo mostrou uma diferença de custo, da apresentada na tabela estadual, de R\$2,96 no custo da matéria prima utilizada por m² de revestimento executado em relação ao que se foi observado neste trabalho.

Contemplando todas as especificidades do caso estudado, é importante considerar as ponderações do mesmo, pois foi possível elaborar uma composição de preço unitário que muito se diverge da estruturada pela SEINFRA 026.1. Mesmo tendo valores finais de custos aproximados e com um ganho percentual de 11,09% quando comparado a composição elaborada neste trabalho, a tabela estadual se mostra ineficiente para o dimensionamento de equipes e gerenciamento de insumos para a realidade acompanhada na pesquisa. Isso se dá ao fato de que os coeficientes da referida fonte são obtidos por médias gerais estaduais podendo causar um subdimensionamento de equipes e acúmulo de estoques de materiais, respectivamente.

Portanto, utilizando esse parâmetro de estudos que foi desenvolvido neste trabalho, pode-se utilizar esse método para outras obras, visto que cada obra tem suas particularidades, logo respalda-se por conferir grande importância as diferentes ocasiões em que é desenvolvido o serviço de emboço argamassado em obras residenciais unifamiliares na região de Sobral, Ceará, orientando profissionais da construção civil quanto a utilização da tabela orçamentária estadual em detrimento a realidade deste nicho de construção na referida região.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, F. F. **Novos enfoques sobre gestão da produção. Como melhorar o desempenho das empresas de construção civil.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 5º, São Paulo, USP. Anais. São Paulo, ANTAC, 1993, v.2,p.557-570.

COÊLHO, Ronaldo Sérgio de Araujo. **Método para estudo de produtividade da mão-de-obra na execução de alvenaria e seu revestimento em ambientes sanitários.** São Luís: [s.n], 2003. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2006. Disponível em <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264256/1/Coelho_RonaldoSergiodeAraujo_M.pdf>. Acesso em: 14 Mai. 2022.

SECRETARIA DA INFRAESTRUTURA. **Tabela de custos da SEINFRA é destaque do ano pelo IBEC.** 2014. Disponível em: <<https://www.seinfra.ce.gov.br/2014/05/06/tabela-de-custos>> . Acesso em: 14 Mai. 2022.

TABELA DE CUSTOS – VERSÃO 026.1 – ENC. SOCIAIS 85,20%. **C1221- EMBOÇO C/ ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA S/PENEL, TRAÇO 1:4.** 2020. Disponível em: <<https://sites.seinfra.ce.gov.br/siproce/desonerada/html/C1221.html?a=1545420100424>>. Acesso em: 14 Mai. 2022.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

MIRANDA, Christian Matias¹; IZQUIERDO, Orieta Soto²; SOTO, Indara Izquierdo³; BEZERRA, Felipe Artur Cabral⁴

¹ Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas, Brasil, christianmat97@gmail.com

² Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas, Brasil, orietasi@uft.edu.br, 0000-0003-4978-1816

³ Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas, Brasil, indaritasi@gmail.com, 0000-0001-6411-331X

⁴ Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas, Brasil, felipearturb@outlook.com

RESUMO

A construção civil é uma grande geradora de resíduos, se tornando assim um dos principais agentes de poluição ambiental no mundo todo. O tijolo solo-cimento vem apresentando-se como uma técnica sustentável e bastante promissora, pois para sua produção pode ser substituído parte do solo por resíduo da construção civil (RCC). Por isso, esta pesquisa teve como objetivo estudar o comportamento do tijolo solo-cimento produzido em prensa motorizada com a substituição do solo por resíduos da construção civil para execução de alvenaria de vedação. Para isto foi usada a dosagem em volume 1:10 (cimento:solo) com teores de 0%, 10%, 20% e 30% de resíduos substituindo o volume do solo. Os tijolos tiveram avaliadas suas propriedades físicas e mecânicas como absorção de água e resistência à compressão simples aos 7 e 28 dias de idade. Os resultados com embasamento na análise estatística mostraram que todos os traços atingiram resistência média à compressão superior aos 2 MPa, valor exigido pela norma ABNT NBR 8491 (2012) aos 28 dias de idade para tijolos de vedação. O traço com 10% de substituição de solo por resíduos da construção teve resistência à compressão superior em 13,4% com relação ao tijolo de referência. Por fim, considera-se a substituição de resíduo da construção civil pelo solo uma alternativa sustentável para a produção de componentes construtivos. Desta forma, conclui-se que os traços utilizados nesta pesquisa são ideais para a confecção de tijolos solo-cimento com função não estrutural.

Palavras-chave: tijolos solo-cimento; resíduos da construção civil; resistência à compressão; alvenaria de vedação.

ABSTRACT

The civil construction is a major generator of waste, thus becoming one of the main agents of environmental pollution worldwide. The soil-cement brick has been presented as a sustainable and very promising technique, because part of the soil can be replaced by civil construction waste (RCC). This research aims to study the behavior of the soil-cement brick produced in a motorized press with the replacement of the soil by construction waste with contents of 0%, 10%, 20% and 30%. The bricks had their physical and mechanical properties evaluated, such as water absorption at 7 days and simple compression strength at 28 days of age. The results based showed that all bricks reached an average compressive strength greater than 2 MPa, a value required by the brazilian standard NBR 8491 (2012) at 28 days of age for sealing masonry. The brick with a 10% substitution of soil for construction residues had resistance to compression higher than 13.4% in relation to the reference brick. Finally, the substitution of civil construction waste by soil is considered a sustainable alternative for production of building components. Thus, it is concluded that the mixes used in this research are ideal for making soil-cement bricks with a non-structural function.

Keywords: soil-cement brick; construction waste; compressive strength; sealing masonry.

1. INSTRUÇÕES GERAIS

Segundo a ABCP [1], o solo-cimento é o produto resultante da mistura homogênea, compactada de solo, cimento e água em dosagens adequadas de acordo com o solo em estudo e as normas que o aplicam, tendo como resultado um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e de grande durabilidade. Assim, a Associação reitera que quase todos os tipos de solos podem ser usados, com exceção para os solos que possuem matéria orgânica em sua composição, dessa forma, o solo é o componente mais utilizado no traço do solo-cimento, e o cimento com o uso que varia de 5% a 10% da massa do solo.

Segundo Campos et al. [2] as propriedades técnicas do tijolo de solo-cimento se apresentam satisfatórias na utilização desse produto na construção civil, como paredes de vedação, estruturais e na pavimentação. O tijolo solo cimento apresenta tendências de sustentabilidade, permitindo, dessa maneira, a redução do custo final. Isto é possível pois se tem maior quantidade de solo em relação ao cimento, juntamente com a água para amassamento e cura do produto.

Por outro lado, segundo o Relatório realizado pelo Conselho Internacional da Construção (CIB) [3], a indústria da construção é a que mais consome recursos naturais, gerando consideráveis impactos ambientais. Com isso, é estimado que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam originários da construção civil.

Adicionalmente, grande parte dos resíduos produzidos em áreas urbanas são providos da indústria da construção civil, que resulta em grandes volumes de materiais de construção e de componentes dos canteiros de obras, depositados na maioria das vezes em locais inadequados, como terrenos baldios [4]. Com isso, tem-se pensado em técnicas que possam minimizar a produção de resíduos da construção civil (RCC) ou até mesmo utilizá-los.

Diante deste cenário o tijolo de solo-cimento ressurge não só como uma solução sustentável para construções, mas também como solução para o aproveitamento de resíduos da construção, demolição e da agroindústria, mantendo o seu desempenho e durabilidade.

1.1 Justificativas

A construção civil é uma grande geradora de resíduos, se tornando assim um dos principais agentes de poluição ambiental [5]. Por outro lado, o tijolo solo-cimento vem sendo um componente promissor dentro da construção civil devido a seu processo de fabricação ser considerado limpo, pois não necessita da queima de madeira para aquecimentos de fornos, evitando a poluição com gases [6].

Dessa forma, o tijolo solo-cimento se apresenta como uma técnica sustentável e bastante promissora, pois além de reduzir a produção de resíduos pode absorver parte dele na produção dos tijolos solo-cimento com substituição de parte do solo por resíduo da construção civil (RCC). Assim, com o incremento do RCC no tijolo é possível dar um destino economicamente viável e sustentável para o resíduo, além de melhorar as características do tijolo, como o aumento da resistência à compressão simples e a diminuição da sua absorção de água, como será verificado neste trabalho.

Por isso, esta pesquisa teve como objetivo estudar o comportamento do tijolo solo-cimento produzidos em prensa motorizada com substituição parcial do solo por resíduos da construção civil (RCC) em diferentes proporções (0%, 10%, 20% e 30%) para execução de alvenaria de vedação.

2. MATERIAIS E PROGRAMA EXPERIMENTAL

Os materiais empregados foram: o solo, retirado de escavações feitas para a construção de empreendimentos; o resíduo da construção civil (RCC), coletado de forma processado de uma usina de reciclagem de resíduos de construção civil (ver Figura 1) e cimento CPV ARI, caracterizado por ter altas resistências iniciais.



Figura 1 - Resíduos da construção civil (RCC): sem processamento (a) e em processamento (b).

2.1 Caracterização dos materiais

O solo usado para a fabricação dos tijolos foi o solo vermelho (SV) e foi adicionado 10% do solo argiloso (SA) em relação ao volume total do solo para todos os traços. Decidiu-se adicionar esse outro solo com característica argilosa já encontrado na fábrica e retirado de uma jazida próxima para uma melhor moldagem e desmoldagem dos tijolos da prensa.

Para a caracterização dos solos e RCC foram realizados os seguintes ensaios:

- Análise granulométrica, de acordo com a (ABNT NBR 7181 [7]),
- Determinação da massa específica, de acordo com a (ABNT NBR 6508 (1984) [8]),
- Determinação do limite de liquidez, de acordo com a (ABNT NBR 6459 [9]),
- Determinação do limite de plasticidade, de acordo com a (ABNT NBR 7180 [10]).

2.2 Dosagem

Pesquisas como as de Segantini e Wada [11] e Lima [12], recomendam usar teores entre 4% e 10% de cimento da massa total da mistura para a estabilização do tijolo solo-cimento alcançar assim bons resultados de resistência na fabricação de tijolos. Esta pesquisa optou pelo traço em volume 1:10 (cimento:solo). Com a intenção de estudar o comportamento da substituição do solo por RCC na composição da mistura, foram adotados vários traços variando a composição de solo e RCC e em todos manteve-se fixo o mesmo teor de cimento. A Tabela 1 apresenta a porcentagem de substituição do solo pelo RCC dos traços utilizados.

Tabela 1 - Traços e porcentagens de materiais na mistura em volume.

| Traço | Solo | RCC |
|-------|------|-----|
| TR0 | 100% | - |
| TR10 | 90% | 10% |
| TR20 | 80% | 20% |
| TR30 | 70% | 30% |

2.3 Fabricação dos tijolos

Os tijolos confeccionados para este estudo foram fabricados com dimensões de 250mm de comprimento, 125mm de largura e 70mm de altura e encaixes nos furos internos de 6 cm como mostra a Figura 2.



Figura 2 - Tijolo solo-cimento com dimensões de 250x125x70 mm (comprimento, largura, altura).

Os RCC e os dois diferentes tipos de solo após o processamento foram peneirados com peneira de abertura de 4,8 milímetros. Por conseguinte, separou-se os materiais de acordo com os traços especificados na Tabela 1, com um recipiente de capacidade volumétrica de um litro. Posteriormente, foram homogeneizados os materiais de forma manual, com o uso de uma enxada. Depois, adicionou-se água em poucas quantidades até que a mistura atingisse a consistência de moldagem, sendo a quantidade de água verificada em cada moldagem pelo teste visual e manual.

Assim, após a homogeneização dos materiais a mistura foi colocada no dosador da prensa para realização da prensagem. A Figura 3 mostra a concepção final dos tijolos com a retirada do excesso de material e aferição das espessuras dos tijolos.



Figura 3 - Finalização dos tijolos. Limpeza dos tijolos com ar comprimido (a) e Medição da espessura dos tijolos (b).

Logo após, os tijolos foram retirados com cuidado e colocados em local para a realização da cura úmida por 6 dias, com a utilização de lona para cobri-los. Foram fabricados para cada traço 7 tijolos, na qual foram destinados 4 para o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias e 3 para o ensaio de absorção de 7 dias.

2.4 Caracterização físico-mecânica do tijolo

Para a caracterização física dos tijolos foi realizada a análise dimensional e o ensaio de absorção de água de acordo com a ABNT NBR 8492 [13].

Para a caracterização mecânica foi realizado o ensaio de resistência à compressão de acordo com a ABNT NBR 8492 [13]. O teste foi realizado na prensa hidráulica universal Quanteq, que possui uma carga máxima para ensaios de até 200 toneladas como mostra a Figura 4.

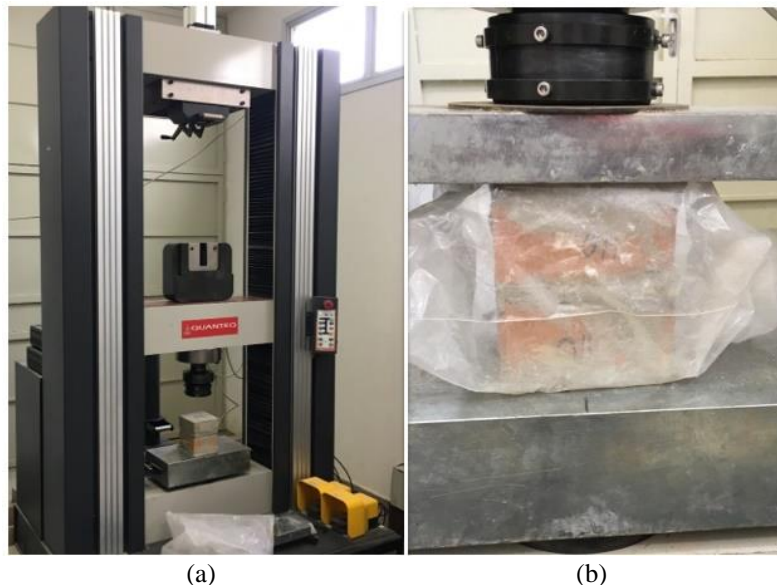


Figura 4 - Compressão dos tijolos. Prensa utilizada (a), corpo de prova na prensa (b).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados da caracterização dos materiais que compõem os tijolos assim como os resultados dos ensaios dos tijolos propriamente.

3.1 Caracterização dos materiais

i. Análise granulométrica e classificação

Conforme afirma Das [14], o sistema de classificação textural pelos diagramas triangulares USDA [15] desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos é bastante utilizado pela confiabilidade no método. Este método tem como base os limites de partícula de acordo com os valores descritos abaixo:

- Tamanho da areia: 2,0 a 0,05 mm de diâmetro
- Tamanho do silte: 0,05 a 0,002 mm de diâmetro
- Tamanho da argila: menor que 0,002 mm de diâmetro.

A Tabela 2 ilustra a distribuição granulométrica dos materiais em estudo conforme a classificação textural pelos diagramas triangulares USDA [15] e a Figura 5 apresenta as curvas granulométricas dos solos SV, SA e do RCC.

Tabela 2 - Distribuição Granulométrica de acordo com a (USDA) do solo vermelho (SV), solo argiloso (SA) e resíduo da construção civil (RCC).

| Parâmetros | | SV | SA | RCC |
|---------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|
| Distribuição Granulométrica (%) | Areia (0,05-2,0mm) | 53,35 | 53,65 | 87,38 |
| | Silte (0,002-0,05mm) | 2,84 | 16,26 | 1,82 |
| | Argila (<0,002mm) | 43,81 | 30,09 | 10,80 |

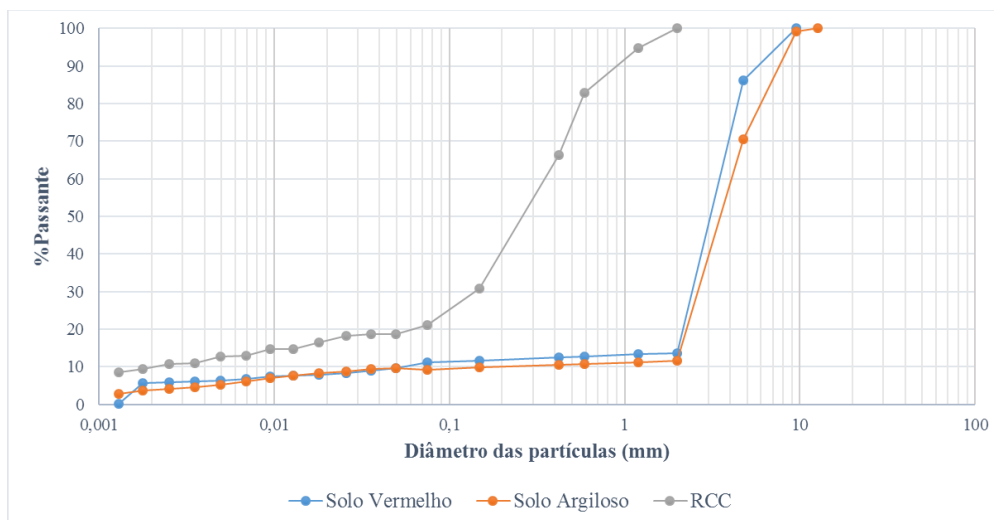


Figura 5 - Curvas granulométricas do SV, SA e RCC.

De acordo com os resultados da Tabela 2 e da classificação textural pelos diagramas triangulares [15], o solo vermelho obteve 53,35% de areia, 2,84% de silte e 43,81% de argila, sendo classificado como argila-arenosa. O solo argiloso pela mesma classificação, com 53,65% de areia, 16,26% de silte e 30,09% de argila, sendo classificado também como argila-arenosa. O resíduo da construção civil (RCC) apresentou 87,38% de areia, 1,82% de silte e 10,80% de argila, sendo classificado como areia devido as suas dimensões, mas com absorção de água muito superior à de uma areia e resistência mecânica inferior.

Por conseguinte, segundo a ABNT NBR 10833 [16] conceitua-se adequado para a produção de tijolo solo-cimento os solos que possuem 100% dos grãos passando na peneira 4,8mm (n^o4) e de 10% a 50% passando na peneira 0,075mm (n^o200). Assim, os solos SV e SA possuem solo retido na peneira de 4,8mm, por isso para a produção dos tijolos ambos os solos foram peneirados para a retirada dos pedregulhos e a adequação do solo aos critérios da norma. Já o resíduo se adequa pois durante a sua coleta foi passado pelo processo de peneiramento. Conforme cita Campos Jr. [17], os solos mais recomendados são aqueles compostos por cerca de 50% de areia, 25% de silte e 25% de argila. Assim, os solos SV e SA não são formados por essa proporção, contudo optou-se pela não correção do solo com areia, para observar se o resíduo poderia possibilitar essa correção, visto que a sua característica é a composição arenosa.

ii. Massa específica

Os valores da massa específica dos grãos são apresentados na Tabela 3. Esses resultados e permitiram realizar os cálculos para o ensaio de sedimentação, ao relacionar o tamanho da partícula com a velocidade com que ela sedimenta em um líquido.

Tabela 3 - Massa específica do solo vermelho (SV), solo argiloso (SA) e do resíduo da construção civil (RCC).

| Parâmetros | SV | SA | RCC |
|---|------|------|------|
| Massa específica dos grãos (g/cm ³) | 2,73 | 2,60 | 2,52 |

iii. Limite de Liquidez

A Tabela 4 mostra os valores de Limite de Liquidez encontrados para cada solo e resíduo da construção.

Tabela 4 - Limite de Liquidez do Solo Vermelho (SV), Solo Argiloso (SA) e do Resíduo da Construção Civil (RCC).

| Parâmetros | SV | SA | RCC |
|------------------------|------|----|-----|
| Limite de liquidez (%) | 52,5 | 64 | 25 |

Contudo, de acordo com a ABNT NBR 8491 [18], é recomendado produzir tijolos solo-cimento com limite de liquidez inferior a 45%. Com essa recomendação os solos SV e SA se encontram impróprios para a produção dos tijolos, pois

tiveram limites superiores a esse número, e o RCC se encontra apto. Desse modo, pelo resíduo estar dentro dos parâmetros decidiu-se não fazer a correção nos solos para observar o comportamento do RCC nos tijolos, assim como foi feito com a granulometria. Segundo Neves [19], solos com altos limite de liquidez, ou seja, solos em que possuem teores de água acima de 45%, são mais difíceis de se estabilizar com cimento, se tornam mais compressível e oferecem menor resistência à compressão.

iv. Limite de Plasticidade

Os limites de plasticidade foram definidos conforme a ABNT NBR 7180 [10] por meio da média de três pontos e obtido os valores citados na Tabela 5.

Tabela 5 - Limite e índice de plasticidade do Solo Vermelho (SV), Solo Argiloso (SA) e Resíduo da Construção Civil (RCC)

| Parâmetros | SV | SA | RCC |
|-----------------------------|------|------|-----|
| Limite de plasticidade (%) | 41,0 | 42,0 | NP |
| Índice de Plasticidade (IP) | 11,5 | 22,0 | NP |

Dessa forma, de acordo com a ABNT NBR 8491 [18], é recomendado a utilização de solos com limite de plasticidade inferior a 18%. É visto que os solos vermelho e argiloso não possuem esse parâmetro dentro dos padrões exigidos pela norma, pois ambos apresentaram os limites maiores que o valor estipulado de 18%. Assim, o resíduo foi considerado não plástico (NP), devido a sua característica arenosa e não foi possível moldá-lo para definição dos seus pontos.

Desse modo, de acordo com Lopes [20] a plasticidade de um solo está ligada à textura e à natureza mineralógica das argilas presentes, portanto, quanto maior o índice de plasticidade mais o material está propício a variações dimensionais, resultado do inchamento do solo quando úmido e retração quando seco. O autor afirma também que os solos arenosos são considerados não plásticos.

Dessa forma, os solos SV e SA utilizados para a confecção dos tijolos solo-cimento em Palmas, se encontraram fora dos critérios para seleção de solos estabelecidos pela ABNT NBR 8491 [18], visto que ambos possuem limites de liquidez maiores que 45% e limites de plasticidade maiores que 18%, ambos estabelecidos pela norma. Já o RCC apresentou valores em sua caracterização física que estão conformes com a norma. Contudo, manteve-se a utilização dos solos sem alteração das suas propriedades para verificar a influência da adição do resíduo da construção civil na absorção de água e na resistência dos tijolos. Nenhum solo cumpriu os requisitos estabelecidos, contudo se espera que os resíduos alterem as características da mistura.

3.2 Caracterização dos tijolos

v. Ensaio de absorção de água

A Figura 6 apresenta os valores médios do ensaio de absorção de água dos traços estudados obtidos aos 7 dias de idade.

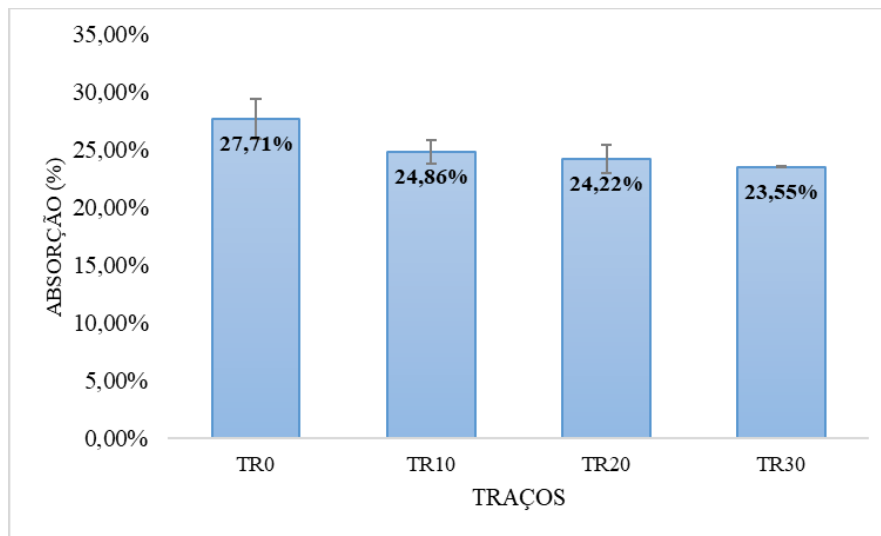


Figura 6 - Absorção dos tijolos aos 7 dias.

A ABNT NBR 8491 [18] especifica que a absorção de água deve ser inferior a 20% aos 7 dias, dessa forma, nenhum traço atendeu aos requisitos da referida norma. Nota-se que com o aumento da porcentagem de resíduos na composição da massa do tijolo a absorção diminui chegando quase aos 20% que é o valor máximo exigido. A substituição do RCC pelo solo possivelmente cria uma massa mais compacta e homogênea, já que tanto o solo utilizado (vermelho e argiloso) e o resíduo tiveram características diferentes nas suas propriedades físicas.

vi. Ensaio de resistência à compressão simples

A Figura 7 apresenta os valores médios da resistência à compressão axial de todos os traços analisados aos 28 dias de idade.

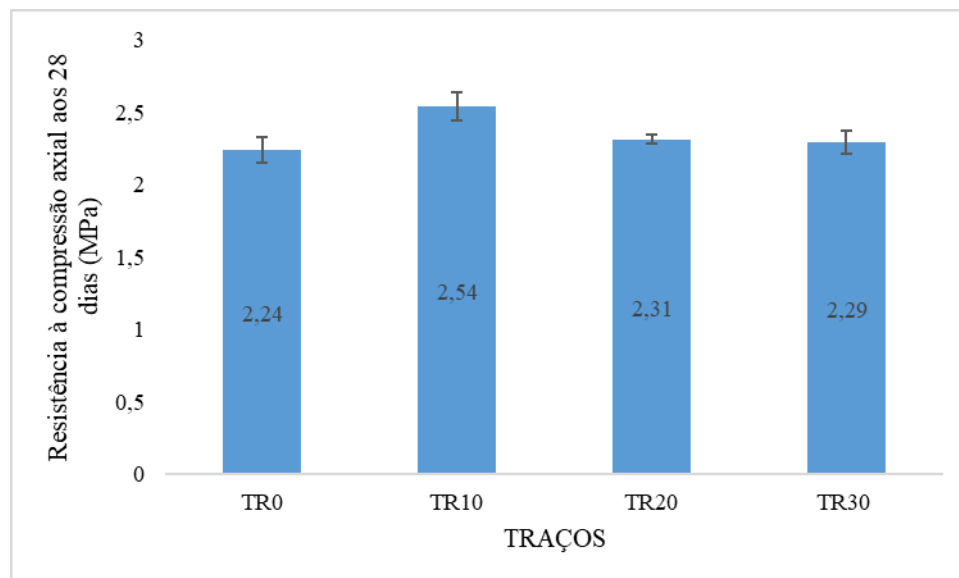


Figura 7 - Valores médios da resistência à compressão axial aos 28 dias.

Os tijolos com substituição do solo por resíduos da construção na sua composição obtiveram bons resultados se comparados com os tijolos sem substituição (traço de referência). Os três traços com adição de RCC (TR10, TR20 e TR30) apresentaram valores médios de resistência à compressão superiores ao traço de referência (TR0). Apesar dos solos não estarem adequados para a produção de tijolos, o TR0 alcançou uma resistência média à compressão aos 28 dias

superior aos 2 MPa como exigido pela norma ABNT NBR 8491 [18]. Já aqueles com a adição do resíduo da construção alcançaram valores de resistência superiores.

Como já foi citado, os solos vermelho e argiloso tiveram alto índices de liquidez e de plasticidade, o que provoca menor resistência à compressão, maior dificuldade de estabilização com o cimento, o que os tornam mais compressível e sujeito a variações dimensionais, resultado do inchamento do solo quando úmido e retração quando seco. Já o RCC apresentou valores em sua caracterização física que estão conformes com a norma. Portanto, ao substituir-se o resíduo da construção pelo solo vermelho e argiloso houve uma correção da massa deixando-a mais uniforme, menos plástica e com menos índices de liquidez provocando uma melhor estabilização com o cimento. Dessa forma, os tijolos com substituição de resíduos alcançaram resistências superiores aos tijolos sem substituição.

Pode-se observar também que a resistência à compressão do traço TR10 foi a maior dos quatro traços, indicando que a substituição do solo por 10 % de RCC é a ideal para corrigir o solo e assim alcançar maiores valores de resistência à compressão. À medida que aumenta a porcentagem de substituição do resíduo os valores de resistência à compressão dos tijolos diminuem, não sendo essas porcentagens (20 % e 30%) as ideais para a produção dos tijolos. Assim, mesmo com 30% de substituição de solo por RCC a resistência do tijolo de referência foi superada, substituindo uma matéria prima não renovável (solo) por um resíduo.

4. CONCLUSÕES

No decorrer do desenvolvimento do presente estudo e de acordo com os objetivos estabelecidos no início deste trabalho, esta pesquisa foi dividida em duas etapas fundamentais. A primeira consistiu na caracterização dos materiais utilizados para a confecção do tijolo solo-cimento com substituição de resíduos da construção civil pelo solo. A segunda etapa enfocou o estudo nas características físico-mecânicas do tijolo moldado conforme a ABNT NBR 8491 [18] com o estudo da absorção de água e resistência à compressão.

Na caracterização detalhada das principais propriedades físicas dos solos, verificou-se que os solos vermelho e argiloso não ficaram dentro dos critérios exigidos por norma, com índices de liquidez e plasticidade acima do recomendado pela norma ABNT NBR 8491 [18]. Sem embargo, o resíduo da construção civil se enquadrou dentro dos parâmetros recomendados pela norma.

No ensaio de absorção todos os quatro traços não atenderam os requisitos exigidos pela norma ABNT NBR 8491 [18], apresentando valores médios de absorção de água superiores aos 20%. Contudo, pode-se afirmar que conforme foi aumentando a porcentagem da substituição do resíduo pelo solo, diminuiu a porcentagem de absorção de água do tijolo, sendo o traço TR30 o que mais se aproximou do valor estipulado pela norma.

No ensaio de resistência à compressão simples aos 28 dias todos os traços se mostraram aptos perante o parâmetro de resistência mínimo de 2MPa exigidos pela norma para os valores médios de resistência. Desta forma, conclui-se que os traços utilizados nesta pesquisa têm resistência mínima para a confecção de tijolos ecológicos com função não estrutural, contudo não satisfazem o grau de absorção exigido por norma. Sendo assim, necessário a realização de outros traços com outras porcentagens de adição de resíduo a partir dos 30%, para ser aferido a influência do resíduo na absorção de água dos tijolos.

AGRADECIMENTOS

Os autores desta pesquisa agradecem à empresa Ecolar Tijolos Ecológicos por fornecer a prensa utilizada na fabricação dos tijolos e à Ambiental- Usina de Reciclagem de Entulhos, por fornecer o resíduo utilizado na fabricação dos tijolos. Agradem também à pesquisadora arquiteta Daniella Carvalho de Mendoça (in memoriam) por ser a idealizadora desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Dosagem das misturas de solo-cimento-Normas de Dosagem e Métodos de ensaios. 3.ed. São Paulo: ABCP, 2004.

- [2] CAMPOS, A.; NASCIMENTO JR., J.B.; BRITO, L. T. Comportamento estrutural de tijolos de solo-cimento utilizando diferentes fontes de água e métodos de cura. *Interações (campo Grande): Interações (Campo Grande)*, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 283-297, 21 mar. 2019. Trimestral. Universidade Católica Dom Bosco. <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v0i0.1565>.
- [3] CIB, Conselho Internacional da Construção. *Construção Sustentável*. 2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidadessustentaveis/urbanismosustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 10 maio 2019.
- [4] KARPINSKI, L. A.; GUIMARÃES, J.C.B.; PANDOLFO, A.; PANDOLFO, L.M.; REINEHER, R., KUREK, J. *Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: Uma abordagem ambiental*. Porto Alegre: Edipucrs, 2009. 163 p. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/orgaos/edipucrs/>>. Acesso em: 03 abr. 2019.
- [5] ALVES, L. S. *Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-03A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 129p, 2016.
- [6] WEBER, E.; CAMPOS, R. F. F.; BORGIA, T. *Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na construção civil*. *Ignis, Caçador*, v. 6, n. 2, p.18-34, maio/ago 2017. Semestral.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Solo – Análise granulométrica*. - NBR 7181, Rio de Janeiro, 2016.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Solo- Determinação da massa específica*. - NBR 6508, Rio de Janeiro, 1984.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Solo- Determinação do limite de liquidez*. - NBR 6459, Rio de Janeiro, 2016.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Solo- Determinação do limite de plasticidade*. - NBR 7180, Rio de Janeiro, 2016.
- [11] SEGANTINI, A.; WADA, P. *Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição*. *Acta Scientiarum. Technology*. 33, 2011. DOI: 10.4025/actascitechnol.v33i2.9377.
- [12] LIMA, F. X. R. F. *Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações*. 2013. 128 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, FAUNB, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2013. Cap. 1.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência a compressão e da absorção de água*. - NBR 8492, Rio de Janeiro, 2012.
- [14] DAS, B. M. *Fundamentos de engenharia geotécnica*, 6 ed. Rio de Janeiro: Cengage. 2010.
- [15] USDA, S. *Soil Taxonomy a basic system of soil classification for making and interpreting*. USA: Natural Resources Conservation servisse, 1999.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica- Procedimento*. - NBR 10833, Rio de Janeiro, 2012.
- [17] CAMPOS JR., P. B. *Produção de tijolos de solo-cimento*. Piracicaba: Unimep, 2016. 73 p.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Tijolo de solo-cimento - Requisitos*. - NBR 8491, Rio de Janeiro, 2012.

[19] NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R.; SALAS, P. C.; HOFFMANN, M.V. Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo. Rede Ibero-americana PROTERRA, 2010.

[20] LOPES, W. G. R. Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas. 2002. 158p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257285>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

USO DE RESÍDUOS DO LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS - UFT PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO DE PAVIMENTAÇÃO

ROCHA OLIVEIRA, Sandra¹; SOTO IZQUIERDO, Indara²; SOTO IZQUIERDO, Orieta³

¹ Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Brasil, sandra.rro@uft.edu.br, 0000-0003-4303-4035

² Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Brasil, indaritasi@uft.edu.br, 0000-0001-6411-331X

³ Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Brasil, orietasi@uft.edu.br, 0000-0003-4978-1816

RESUMO

A indústria da construção civil é responsável pela geração de resíduos dos mais variados. O uso de agregados reciclados provenientes do concreto tem se apresentado como uma alternativa para a fabricação de novos componentes de concreto na construção civil. O Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Tocantins, Campus Palmas, produz muitos resíduos de concreto em forma de corpos de prova, em função das pesquisas acadêmicas desenvolvidas pelos alunos de Engenharia Civil. Esses resíduos são descartados próximos ao laboratório e não possuem destinação adequada. A pesquisa buscou utilizar esses resíduos britados com substituição parcial dos agregados graúdos nos teores de 25%, 50% e 75% na produção de blocos de pavimentação pré-moldados Tipo 1. Foi feita a avaliação física e mecânica por meio de ensaios normatizados. A absorção de água dos blocos de pavimentação cumpriu satisfatoriamente com o especificado na norma. Os traços com uso de agregados reciclados alcançaram maiores resistências à compressão com relação ao traço de referência, sendo a mistura com teor de 75% que apresentou melhor comportamento mecânico. Dessa forma, foi possível uma nova destinação dos resíduos de concreto dos laboratórios, a fim de minimizar os impactos ambientais e visuais no âmbito da Universidade e uma possível destinação adequada.

Palavras-chave: Resíduos; concreto; agregado reciclado; blocos de pavimentação.

ABSTRACT

The civil construction industry is responsible for the generation of a wide range of waste. The use of recycled aggregates from concrete has been presented as a promising alternative for the manufacture of new concrete components in civil construction. The Construction Materials Laboratory at the Federal University of Tocantins produces a lot of concrete waste in the form of specimens, as a result of academic research carried out by Civil Engineering students. These residues are discarded close to the laboratory and do not have an adequate destination. The present work sought to use these crushed residues as partial replacement of natural coarse aggregates in the contents of 25%, 50% and 75% in the production of Type 1 precast paving blocks. The physical and mechanical evaluation was carried out through standardized tests. The water absorption of all paving blocks satisfactorily complied with what is specified in the standard. The mixes using recycled aggregates achieved greater compressive strength compared to the reference mix, and the mixture with a content of 75% showed the best mechanical behavior. Thus, it was possible to show through the research a new possibility for the disposal of concrete waste from laboratories, in order to minimize the environmental and visual impacts within the University and a possible appropriate destination.

Keywords: Waste; concrete; recycled aggregate; paving blocks.

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição em 2011, o Brasil desperdiça 8 bilhões de reais ao ano por não reciclar adequadamente os materiais residuais gerados em todas as indústrias nacionais. As tecnologias para o reaproveitamento de resíduos têm se tornado cada dia mais fortes em função do incentivo a ações de responsabilidade ambiental e sustentável e também pela redução de custos [1]. É importante, além disso,

incentivos legislativos, como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, PNRS, e a resolução nº 307 de 2002 [2], da CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente.

A indústria da construção civil, apesar das recessões, é uma das mais produtivas no país e exerce um grande papel interventor, durante toda sua cadeia produtiva, na configuração do cenário ambiental [3]. Dessa forma, a construção civil é responsável por uma parcela considerável da massa total dos Resíduos Sólidos Urbanos, RSU, e pelo consumo de um grande volume de recursos naturais do planeta, principalmente os não renováveis. Segundo dados de Miranda [4], no Brasil é gerado, em média, 0,52 tonelada de Resíduos de Construção Civil (RCC) por habitante e por ano ou 150 kg por m² construído (para obras novas), representando de 54% a 70% da massa dos RSU.

Esses resíduos, também conhecidos como Resíduos de Construção e Demolição (RCD), em 2017 por exemplo, de 78,4 milhões de toneladas de RSU, 45 milhões de toneladas são RCD, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais [5]. Por não possuir uma gestão correta, tanto na execução das obras, onde usualmente não existe preocupação com o desperdício, quanto na sua destinação final, o descarte dos resíduos acaba ocorrendo em locais irregulares e causando o esgotamento de áreas de aterro e bota-fora [6].

O uso de agregados reciclados provenientes do concreto vem se apresentando como uma alternativa promissora para a fabricação de componentes e elementos de construção civil. Na Universidade Federal do Tocantins, UFT, Campus Palmas, o Laboratório de Engenharia Civil é responsável por produzir diversos corpos de prova provenientes de pesquisas acadêmicas e ensaios laboratoriais com idade, composição e outros parâmetros divergentes e se encontram depositados ao ar livre, próximo ao complexo laboratorial da universidade, sem destinação adequada, tornando-se um problema para a instituição como mostra a Figura 1.



Figura 1 - Corpos de prova descartados em baía do Laboratório de Engenharia Civil da UFT.

Analogamente ao desenvolvimento do uso de resíduos, a utilização de pavimentos com blocos pré-moldados de concreto vem crescendo em todo o mundo, com as muitas opções de formato, padrões e cores, possibilitando uma variedade estética, constitui um método prático, confiável e vantajoso, cuja principal preocupação é o equilíbrio entre os aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos, assegurando ao pavimento intertravado êxito em praças, parques, jardins, calçadas, estacionamentos, vias urbanas, pátios, depósitos, galpões industriais, estradas, acostamentos, entre outros [7].

Os blocos para pavimentação são produtos pré-moldados de concreto, com traços pré-definidos e processo de produção simples. Suas formas são variadas, cada uma delas com comprimento, largura e espessura bem definidos. Sua produção deve ser uniforme para garantir o encaixe entre as peças. Os materiais que constituem o concreto dos blocos intertravados são cimento Portland, agregados e água, sendo permitido aditivos e pigmentos, estando todos esses materiais atendendo à norma NBR 9781/2013 [8].

Com relação aos diversos formatos, são classificados em 4 tipos. O tipo I, o mais simples, possui formato próximo ao retangular, relação comprimento/largura igual a dois, e se arranjam entre si nos quatro lados, assentados em fileiras ou

formato espinha de peixe; o tipo II consistem em peças em formato único; as peças do tipo III possuem formatos geométricos característicos; já o tipo IV consistem em conjuntos de peças de diferentes tamanhos ou uma única peça com juntas falsas. A diferença entre os tipos de peças está relacionado ao aspecto estético, não interferindo nos resultados de resistência e absorção. Na Figura 2 são apresentados os dois exemplos mais comuns, sendo o modelo retangular da esquerda o produzido no presente estudo.

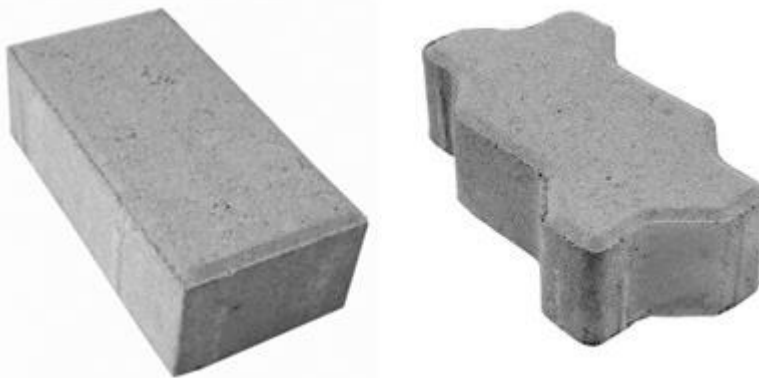


Figura 2 - Exemplos de blocos de pavimentação Tipo I.

Logo, a presente pesquisa visa empregar os corpos de prova de concreto, resíduos laboratoriais (RL), britados, como agregados graúdos na produção de blocos de concreto para pavimentação intertravada de solicitação leve, avaliando sua aplicabilidade e propriedades, possibilitando um uso futuro ambientalmente consciente e econômico.

O trabalho consiste em quatro etapas: seleção, britagem e separação dos resíduos; caracterização dos agregados reciclados e dos agregados naturais; confecção dos blocos de pavimentação com substituição parcial dos agregados naturais graúdos pelos reciclados, nas proporções de 25%, 50% e 75%; e avaliação das propriedades dos blocos por meio de inspeção visual e ensaios de resistência à compressão e de absorção de água.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Tratamento dos resíduos

Primeiramente foi feita a separação manual dos resíduos do Laboratório de Materiais de Construção, da Universidade Federal do Tocantins, Campus Palmas, no ato da coleta, onde foram descartados os corpos de prova oriundos de pesquisa com concreto leve e ou com fibras, pois podem interferir na resistência e na trabalhabilidade do alvo da pesquisa. Com relação à resistência dos resíduos de corpos de prova, não foi feita distinção. Após a coleta, os resíduos de corpos de prova foram levados para a fase de britagem e caracterização.

Os resíduos brutos seguiram para o processo de britagem na britadora de mandíbula. O produto gerado pós britagem é composto de diversas granulometrias. Posterior ao processo de britagem, os resíduos triturados passaram pelo ajuste de granulometria e caracterização. Para isto, foram utilizadas peneiras de 4,8 mm de diâmetro para separar os agregados miúdos e graúdos em frações distintas.

2.2 Caracterização dos agregados naturais e reciclados

Foi realizada a caracterização dos materiais que foram utilizados na produção dos blocos: aglomerante, agregados naturais e reciclados. Os agregados naturais escolhidos foram brita 1 e areia grossa, normalmente utilizados na produção de blocos de pavimentação. O aglomerante utilizado foi o cimento Portland CPV ARI, também comumente utilizado em blocos para pavimento intertravado e pela propriedade de alta resistência inicial. A Tabela 1 apresenta os ensaios de caracterização a serem realizados com os agregados e as respectivas normas regulamentadoras.

Tabela 1 - Ensaios e normatização da caracterização física dos agregados, naturais e reciclados.

| Agregado Miúdo | |
|--|-----------------|
| Característica | Norma |
| Granulometria | NBR NM 248/2003 |
| Massa específica e massa específica aparente | NBR NM 52/2009 |

| | |
|---|-----------------|
| Massa unitária | NBR NM 45/2006 |
| Agregado Graúdo | |
| Característica | Norma |
| Granulometria | NBR NM 248/2003 |
| Massa específica, massa aparente e absorção de água | NBR NM 53/2009 |
| Massa unitária | NBR NM 45/2006 |

2.3 Dosagem do concreto

O concreto foi dosado para atingir a resistência característica à compressão de 35 MPa aos 28 dias, sendo este o valor mínimo especificado pela norma NBR 9781/2013 [8], para a solicitação de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. O método de dosagem empregado foi o ABCP/ACI.

Foram calculados quatro traços: o traço de referência, composto completamente por materiais naturais para comparação de resultados; e os traços com substituição dos agregados graúdos em 25%, 50% e 75%. Foram produzidos 9 blocos de pavimentação para cada tipo de mistura conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2 - Traços determinados pelo método ABCP/ACI

| | Traço de Referência | 25% Reciclado | 50% Reciclado | 75% Reciclado |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Cimento (kg) | 8,08 | 6,5 | 6,5 | 6,5 |
| Areia (kg) | 8,31 | 8,29 | 8,17 | 8,06 |
| Brita (kg) | 8,94 | 8,14 | 5,43 | 2,71 |
| Água (l) | 3,15 | 2,73 | 2,73 | 2,73 |
| Agregado graúdo reciclado (kg) | - | 2,71 | 5,43 | 8,14 |

2.4 Produção dos blocos para pavimentação

Os blocos escolhidos para produção foram do Tipo I da classificação, com geometria retangular, de dimensões 100x200x60 mm, volume e chanfro com projeção vertical e horizontal de 5mm, atendendo aos parâmetros máximos e mínimos indicados na norma NBR 9781/2013 [8]

Através da obtenção do traço de referência, foram realizadas substituições do agregado natural com teores 25%, 50% e 75% do reciclado, com 9 blocos cada traço, totalizando em 36 blocos produzidos para amostragem. Esse número foi determinado conforme a NBR 9781/2013, onde especifica a quantidade de blocos necessárias a cada análise e ensaio exigido.

A partir do traço definido, os blocos foram produzidos na betoneira e os materiais foram cuidadosamente medidos com o auxílio de uma balança e medidor de água. Os blocos foram moldados com formas plásticas e o adensamento foi realizado por meio da mesa vibratória, por 2 min. Após a cura 24 horas, as unidades foram desformadas e identificadas, como mostra a Figura 2. Em seguida, os blocos ficaram imersos em um tanque de água por 4 dias.



Figura 3 - Blocos de pavimentação desformados.

2.5 Caracterização física e mecânica dos blocos para pavimentação

Após 28 dias da moldagem dos blocos, foram realizadas as avaliações e ensaios necessários para a análise das propriedades físicas e mecânicas alcançadas, conforme determinam as diretrizes exigidas pela NBR 9781/2013 [8]. Na caracterização física foi feita a inspeção visual, avaliação dimensional e o grau de absorção de água.

Com relação à caracterização mecânica dos blocos de pavimentação, foi realizado o ensaio de resistência à compressão na prensa QUANTEQ Emic DL2000 com aplicação controlada da força, conforme determina a norma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização física dos agregados naturais e reciclados

A Tabela 3 apresenta os resultados da caracterização física dos materiais para a fabricação do concreto. Os resultados estão de acordo com as exigências das normativas.

Tabela 3 - Resultado da caracterização física dos materiais do concreto.

| Materiais | Módulo de Finura | Dimensão Máx. (mm) | Massa específica (kg/m ³) | Massa específica aparente (kg/m ³) | Ab. água (%) | Massa unitária (kg/m ³) | Índice de vazios (%) |
|---------------------------|------------------|--------------------|---------------------------------------|--|--------------|-------------------------------------|----------------------|
| Areia | 2,4 | - | 1675,38 | 3150,44 | - | 1521,39 | 9,19 |
| Brita (kg) | - | 19 | 2719,33 | 2442,27 | 4,77 | 1091,85 | 59,86 |
| Agregado graúdo reciclado | - | 37,5 | 2530,12 | 2212,13 | 5,68 | 1082,95 | 57,19 |

3.2 Inspeção visual dos blocos de pavimentação

A inspeção visual consiste na análise a olho nu dos blocos produzidos objetivando a identificação de peças com defeitos que possam prejudicar o assentamento, o desempenho estrutural ou o aspecto estético do pavimento. Baseado nisso, 6 amostras de blocos de cada traço foram avaliadas visualmente, conforme determina a norma, e constatou-se que não tiveram nenhum tipo de avaria durante todo o processo de produção, nem na moldagem, nem na desforma. Portanto, os blocos foram visualmente aprovados.

3.3 Avaliação dimensional dos blocos de pavimentação

As dimensões devem atender ao previsto de 100x200x60 mm, com tolerância de 3 mm. Foi realizada em 6 amostras de blocos de cada traço, segundo a NBR 9781/2013 [8]. Segundo os resultados, é possível afirmar que os blocos estão de acordo com as especificações da norma devido a que todos os blocos atenderam às tolerâncias permitida. As formas utilizadas, produzidas em material plástico, contribuem para diferença entre as dimensões podendo haver pequenas distorções, no entanto, não interferem na aprovação dos blocos.

3.4 Absorção de água dos blocos de pavimentação

O ensaio de absorção foi realizado em 3 amostras de blocos de cada traço, como determina a norma. Os resultados do teste como média, desvio padrão e coeficiente de variação são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Absorção de água dos blocos de pavimentação.

| Tipo de Bloco | Absorção de água (%) | | |
|------------------|----------------------|------|--------|
| | Média | Sd | CV (%) |
| Traço Referência | 3,68 | 2,26 | 61,41 |
| Traço 25% | 2,00 | 0,28 | 14,00 |
| Traço 50% | 1,84 | 0,38 | 20,65 |
| Traço 75% | 1,76 | 0,23 | 13,07 |

Todas as peças avaliadas apresentaram absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 % segundo a exigência normativa. É possível constatar que quanto maior a porcentagem de agregado reciclado, menor a absorção de água. Esse fator pode ser dado em função de um melhor empacotamento dos agregados na hora de usar o reciclado, deixando menos vazios e, portanto, maior densidade.

3.5 Ensaio de resistência à compressão dos blocos de pavimentação

Os ensaios de resistência foram executados com 6 peças de amostra de cada traço dos blocos, conforme determina a norma [8]. A Tabela 5 mostra a resistência média (fp) e característica dos blocos de pavimentação.

Tabela 5 - Resistência à compressão dos blocos de pavimentação.

| Tipo de Bloco | Resistência à compressão (MPa) | | | Característica (f _{pk}) |
|------------------|--------------------------------|------|--------|-----------------------------------|
| | Média (fp) | Sd | CV (%) | |
| Traço Referência | 25,28 | 4,24 | 16,77 | 21,38 |
| Traço 25% | 26,61 | 4,45 | 16,75 | 22,51 |
| Traço 50% | 27,36 | 4,26 | 15,57 | 23,45 |
| Traço 75% | 27,41 | 4,08 | 14,91 | 23,65 |

Em uma primeira análise acerca da resistência mecânica avaliada, quanto maior o teor de agregado graúdo reciclado, maior resistência à compressão alcançada. Novamente, esses resultados reforçam a teoria de apresentar menos vazios, portanto, mais compacto e maior resistência, em função de um melhor empacotamento dos agregados com o uso dos reciclados, que apresentaram tamanhos variados, conseguindo assim, preencher melhor um mesmo volume, tendo como resultado uma mistura mais densa.

De acordo com a norma para os blocos de pavimentação NBR 9781/2013 [8], a resistência mínima aceita aos 28 dias para solicitação de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha deve ser de 35 MPa. Logo, nenhum dos traços alcançou a resistência mínima, apesar do traço a 75% ser o mais resistente, superando o traço de referência.

Comparando com outros autores, Hood [9] analisou a viabilidade da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação, nos teores de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de substituição, e aos 28 dias, a maior resistência à compressão alcançada foi de 32,53 MPa para o traço com 0% de agregado reciclado. Dos blocos reciclados, o que alcançou maior resistência à compressão foi a substituição de 25% com 26,67 MPa. Já Muller [10] utilizou também resíduos da construção na produção dos blocos de pavimentação de concreto, substituindo parcialmente a areia, pó de pedra e pedrisco, nas porcentagens de 20%, 30% e 40%. A resistência à compressão obtidas aos 28 dias do traço de referência foi de 34,67MPa. Com a substituição parcial dos agregados, a resistência diminuiu, sendo a maior delas na porcentagem de 30%, que alcançou 30,20 Mpa. Nenhum dos estudos alcançou a resistência proposta em norma.

Nos dois estudos comparativos, foram utilizadas vibroprensas, diferentemente do presente estudo, que utilizou mesa vibratória. Desse modo, possivelmente as resistências desta pesquisa foram menores em comparação aos outros estudos devido a uma possível exsudação do concreto durante a vibração. Outro ponto que pode ter interferido na resistência buscada foi o abatimento do tronco de concreto utilizado no cálculo da dosagem dos traços que foi de 80 a 100 mm. Esse dado se refere a trabalhabilidade do concreto, e como os blocos foram vibrados, não seria necessária uma trabalhabilidade

tão alta. Mesmo assim, os resultados obtidos foram bastante vantajosos, no entanto, podem ser melhorados com uma diminuição no fator água/cimento.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo não alcançaram a resistência exigida em norma de 35 MPa, nem mesmo do traço de referência. No entanto, a medida que a porcentagem de agregados reciclados aumentou, a resistência aumentou. O traço de maior teor reciclado (75%), alcançou a maior resistência aos 28 dias, cerca de 68% da resistência exigida em norma (35 MPa).

Logo, apesar de não ter alcançado a resistência necessária, percebe-se que a utilização dos resíduos foi positiva no aumento da resistência. É necessário um ajuste na dosagem do concreto para alcançar a resistência prevista na norma referente aos blocos de pavimentação (NBR 9781/2013), o presente trabalho buscou avaliar a aplicação dos resíduos de concreto provenientes do descarte promovido pelo Laboratório de Engenharia Civil da UFT e alcançou resultados vantajosos, possibilitando novos estudos direcionados para essa área e uma possível destinação sustentável aos resíduos de concreto, a fim de minimizar os impactos ambientais e visuais no âmbito universitário e possibilitando sua destinação adequada.

Com o apoio das universidades e empresas de Palmas, é possível levar os resultados desse estudo para além do âmbito universitário. Dessa forma, conclui-se a relevância desse estudo, sendo possível estender seu alcance para além da universidade, podendo ser aplicado com resíduos provenientes de laboratórios especializados em controle de qualidade de concreto, ou até mesmo resíduos de concreto de construção e demolição, em parceria com empresas de limpeza urbana, para promover uma destinação aos resíduos prática, sustentável e econômica.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do laboratório de Materiais do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Tocantins.

REFERÊNCIAS

- [1] Brasileiro, L. L.; Matos, J. M. E. (2015) **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica, v. 61, p. 178-189, 2015.
- [2] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 307/2002**. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br>>. Acesso em: 5 out 20019.
- [3] FREITAS, H.T.A. **Uso dos resíduos da construção e demolição em pavimentos no campus da UFERSA-Mossoró/RN**. Monografia – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 61 f, 2013.
- [4] MIRANDA, L.F.R. (2010) **Usinas de Reciclagem de Resíduos Classe A da Construção Civil**. Construção Civil: Uma abordagem macro da produção ao uso. João Pessoa: IFPB: Sinduscon – JP.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. Disponível em: < <http://abrelpe.org.br/>>. Acesso em: 7 nov. 2019.
- [6] TAVARES, L.P.M. **Levantamento e análise da deposição e destinação dos resíduos da construção civil em Ituiutaba, MG**. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007
- [7] Fioriti, C.F; Ino, A; Akasaki, L. (2007). **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus**. Ambiente Construído, v. 7, n. 4, p. 43-54.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: **Peças de Concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, jan. 2013.

[9] Hood, S; da Silva, R. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação.** 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

[10] Muller, D. Savaris, G. **Utilização de resíduos da construção civil para a confecção de blocos para pisos intertravados.** 57º Congresso Brasileiro de Cerâmica. 5º Congresso Iberoamericano de Cerâmica, Natal, RN, Brasil, 2013.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE

ALVARENGA, Bruno M.¹; FALCÃO, Juliane R.²; MATTOS, Flávia C.³; TESSARO, Alessandra B.⁴

¹ Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil, br.m.alvarenga@gmail.com, 0000-0002-1368-0418

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, falcao.juliane1@gmail.com, 0000-0002-7816-7025

³ Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil, fcmattos@furg.br, 0000-0002-9281-5893

⁴ Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil, alessandratessaro@furg.br

RESUMO

Durante o processo de produção da celulose, por meio do método tradicionalmente conhecido como *kraft*, nota-se a geração de resíduos em meio as suas etapas onde, dois destes serviram como base de estudo deste trabalho, sendo eles o dregs e o grits. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho da resistência mecânica e absorção de água por capilaridade de argamassas com substituição de 20% e 30% de uma fração do volume do agregado miúdo utilizado nos traços para a sua produção pelo resíduo dregs e grits. A partir dos resultados, é possível identificar o potencial de aproveitamento, justificando o seu uso devido a sua funcionalidade e viés sustentável frente a grande extração de agregados naturais na obtenção dos materiais convencionalmente utilizados.

Palavras-chave: materiais, resíduos, sustentabilidade, argamassa.

ABSTRACT

During the pulp production process, through the method traditionally known as *kraft*, waste generation is noted in the midst of its stages, where two of these served as the basis of study of this study, being the dregs and the grits. The objective of this paper is to evaluate the performance of the mechanical resistance and water absorption by capillarity of mortars with replacement of 20% and 30% of a volume fraction of the fine aggregate used in the traces for its production by the dregs and grits residue. From the results, it is possible to identify the potential for use, justifying its use due to its functionality and sustainable bias against the large extraction of natural aggregates in obtaining the materials conventionally used.

Keywords: materials, waste, sustainability, mortar.

1. INTRODUÇÃO

Em 2020, o Brasil foi responsável por 11,3% da produção mundial, ficando em segundo lugar no *ranking* dos maiores produtores, e em relação a exportação de celulose, o Brasil destaca-se como maior exportador mundial com cerca de 22,8% em 2020 [1]. Atualmente, o principal processo de produção da celulose no cenário nacional é representado pelo sistema conhecido como *Kraft*, o qual é caracterizada por etapas de cozimento contínuo, onde a principal vantagem deste método está na possibilidade de recuperação dos produtos químicos que são fundamentais nas fases iniciais deste processo.

Devido ao grande crescimento da indústria da celulose, o desenvolvimento dessas práticas acaba resultando, conseqüentemente, na grande geração de resíduos sólidos entre suas etapas devido as características que este método apresenta, entre os quais pode-se destacar os que são conhecidos por grits, dregs e lama de cal.

O dregs é proveniente do processo de clarificação do licor verde, em sequência, a partir do passo da caustificação, é proporcionada a calcinação da lama de cal, e com isso, a cal recuperada é parcialmente dissolvida em água e a parte insolúvel é chamada de grits [2-5].

Baseado nisso, é de grande interesse estudar a potencialidade destes resíduos como fração de substituição dos materiais utilizados na construção civil, analisando suas propriedades para se buscar uma melhoria nos processos construtivos atuais. Esse fator reflete na redução de custos das obras e, principalmente, significando uma boa alternativa, do ponto de vista sustentável, frente a grande extração dos agregados naturais para obtenção da matéria prima necessária na produção dos materiais de construção atuais.

Visto isso, este trabalho visa estudar os resultados de resistência mecânica e de absorção de água por capilaridade de argamassas que tiveram a substituição parcial do seu agregado miúdo (areia média) por dois dos resíduos citados, sendo eles, o grits e o dregs, nos percentuais de 20% e 30%, comparando-os com o traço da argamassa de referência. A análise deste comportamento é fundamental para sustentar a ideia da viabilidade de utilização destes resíduos como uma boa alternativa da perspectiva de durabilidade e eficiência de sua aplicação.

2. METODOLOGIA

Primeiramente, os resíduos foram cedidos por uma empresa que trabalha com a indústria do ramo de papel e celulose, localizada no estado do Rio Grande do Sul, o qual essas amostras foram armazenadas e levadas para o Laboratório de Materiais e Construção Civil da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), onde foi possível gerenciá-las e levá-las para secar em estufa à $100 \pm 5^\circ\text{C}$ e, após o período de 24h deste processo, maceradas com um almofariz.

Ao se tratar das características individuais de cada resíduo, ambos constataam a presença da calcita (CaCO_3) na fase principal cristalina, através do ensaio de difração de Raio-X (DRX). Além disso, percebe-se também que o dregs demonstra uma granulometria muito fina, enquanto o grits mostra uma granulometria fina [6]. A massa unitária de cada um dos materiais utilizados, foi determinada por meio do “Método C” da ABNT NBR NM 45:2006 [7]. Os valores encontrados para a massa unitária estão apresentados na Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 – Massa unitária dos materiais.

| Massa unitária (g/cm^3) | | | |
|---|-------|---------|-------|
| Grits | Dregs | Cimento | Areia |
| 1,27 | 0,86 | 0,91 | 1,49 |

Para este estudo foram moldados corpos de prova prismáticos com dimensões de $4 \times 4 \times 16$ cm de argamassa, seguindo as diretrizes prescritas pela ABNT NBR 16541:2016 [8], os quais respeitaram a substituição parcial de 20% e 30% de uma fração do agregado miúdo do traço de referência, em que se adotou a proporção de uma parte de cimento, para três partes de areia média (1:3), em volume. Desta maneira, os traços utilizados foram de 1:2,8:0,2 e 1:2,7:0,3, para 20% e 30%, respectivamente. Para definir a quantidade de água a ser utilizada em cada um dos traços, foi experimentado diferentes teores em relação a massa total de secos da mistura, de modo a encontrar o melhor resultado para o ensaio de determinação do índice de consistência (IC) das argamassas, o qual seguiu as orientações da ABNT NBR 13276:2016 [9]. O aglomerante utilizado neste experimento foi o cimento do tipo CP IV-RS 32, que possui como característica obter resistência máxima nominal aos 28 dias de cura.

A relação da fração de água em relação ao material seco da mistura, principalmente o cimento, é fundamental para as características que a argamassa apresentará, de modo que influencia em fatores como trabalhabilidade, porosidade, resistência, permeabilidade e, conseqüentemente, durabilidade. Se a relação água/cimento for baixa, significa que o material ficará difícil de trabalhar com ele, enquanto, em contrapartida, o excesso de água acarreta diretamente na diminuição da resistência, além de contribuir para a sua retração depois de seco, o que pode vir causar fissuras [10]. Deste modo, é possível observar na Tabela 2 a seguir, as relações de quantidade de água utilizada, comparada aos demais materiais utilizados em cada mistura, além de seus respectivos índices de consistência.

Tabela 2 – Relação da água com cimento, os materiais secos e o índice de consistência de cada traço.

| | | A/C* | A/MS* | Índice de consistência (cm) |
|------------|-----|------|-------|-----------------------------|
| Grits | 20% | 0,69 | 0,13 | 23,8 |
| | 30% | 0,69 | 0,14 | 26,0 |
| Dregs | 20% | 0,68 | 0,14 | 26,3 |
| | 30% | 0,73 | 0,125 | 24,8 |
| Referência | | 0,75 | 0,14 | 25,8 |

*A/C - Fator água/cimento; A/MS - Relação água/materiais secos

Para a realização do ensaio de resistência mecânica das argamassas, foi utilizado com referência as diretrizes impostas pela ABNT NBR 13279:2005 [11], a qual trata dos procedimentos para realização dos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão.

O ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade foi realizado conforme a ABNT NBR 15259:2005 [12]. Foram utilizados 4 exemplares de cada argamassa, os quais tiveram sua superfície inferior lixados e, em seguida, pesados. Por fim, foram colocados em um recipiente sobre uma grade metálica com água até uma marcação de 5 ± 1 mm e feita a medição em diferentes tempos.

A realização dos ensaios ocorreu após 14 e 28 dias de cura, com o propósito de observar o desempenho ao longo deste período. A cura ocorreu em um ambiente controlado na câmara úmida, com temperatura e umidade relativa do ar constantes em $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e 100%, respectivamente. Vale ressaltar que todos os corpos de prova moldados, foram levados para uma estufa à $100 \pm 5^\circ\text{C}$ para processo de secagem, 24 horas antes dos ensaios.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Resistência à compressão e à tração na flexão

De acordo com os ensaios realizados, os resultados de resistência à compressão e à tração na flexão indicaram um ganho de resistência nas argamassas com substituição parcial do grits, conforme houve o aumento do teor de resíduo utilizado na composição, levando em consideração as situações propostas na metodologia deste trabalho. Contudo, ao analisar os resultados com substituição parcial do dregs, percebe-se que este comportamento não se repete, podendo se observar uma diminuição da resistência, tanto ao longo do tempo quanto com o acréscimo do resíduo em questão. Vale ressaltar que todos os valores encontrados são superiores ao valor do traço de argamassa utilizado como referência.

Na Figura 1, estão representados os resultados para resistência à compressão dos três traços propostos, ensaiados com 14 e 28 dias, respectivamente.

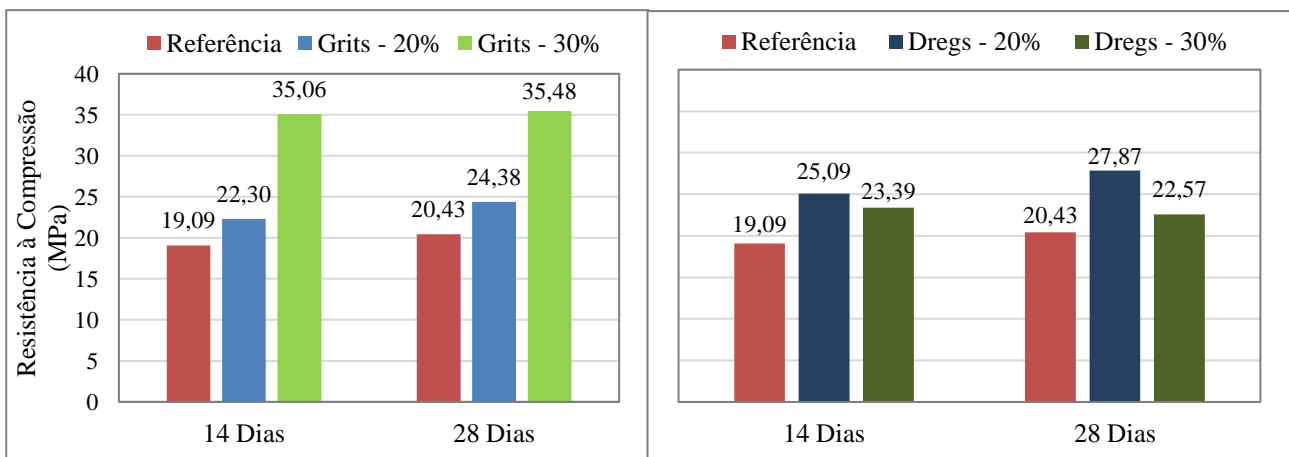


Figura 1 – Resistência à Compressão.

Ao analisar os resultados, individualmente, apresentados na Figura 1, referente ao ensaio de resistência mecânica à compressão, com foco aos 28 dias, observa-se que o grits demonstra um ganho de 45,5% quando se analisa o aumento da fração de substituição de 20 % para 30% deste resíduo, além de apresentar um ganho acentuado de 73,7% em relação ao traço de referência. Os resultados apresentados comprovam valores análogos e superiores as exigidas pela ABNT NBR 13281:2005 [13], onde é classificada como “P6” (> 8 MPa) para ambos os traços.

Já ao se tratar do resíduo dregs, nota-se que ele apresentou ganhos de 36,4% e 10,5% para os traços de 20% e 30%, respectivamente, em relação ao traço de referência, mostrando que o acréscimo do material na composição da argamassa acarretou uma diminuição de sua resistência, equivalente a 19,0%. Contudo, estes valores também se mostram superiores aos exigidos pela norma, e recebem a mesma classificação dada ao grits, conforme citado anteriormente.

Na Figura 2 estão apresentados os resultados para resistência à tração na flexão.

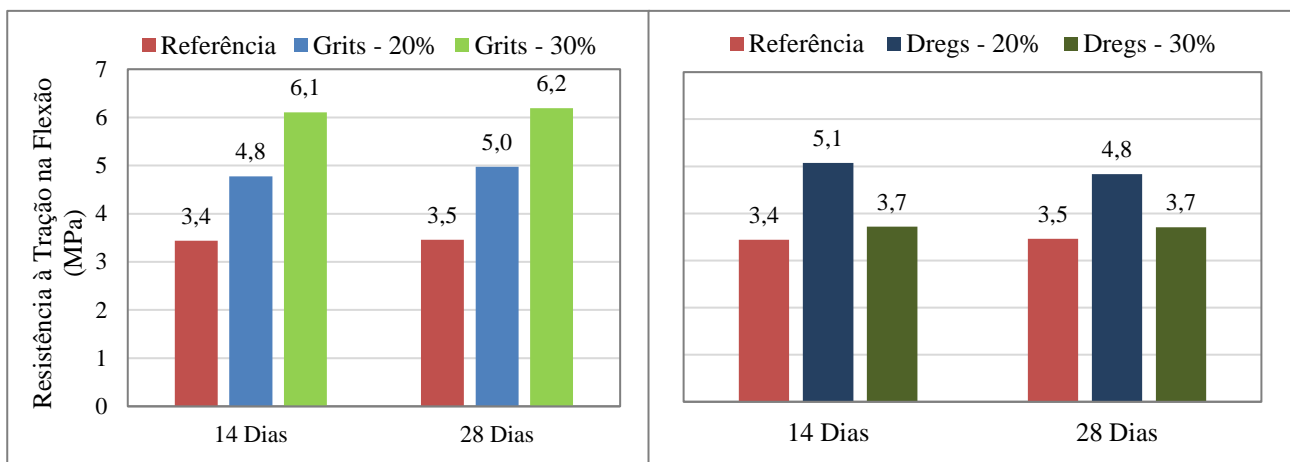


Figura 2 – Resistência à Tração na Flexão.

Realizando a mesma análise feita anteriormente, constatou-se que para o ensaio de resistência mecânica à tração na flexão aos 28 dias, observou-se que o grits demonstrou um ganho de 47,1% ao comparar o traço de argamassa composto por 30% de resíduo com o de 20%, bem como um acréscimo de 77,1%, quando comparado com o traço de referência. Assim, as resistências apresentadas podem ser classificadas, de acordo com a norma, como “R6” (> 3,5MPa) para todos os traços.

Seguindo, ao analisar o resíduo dregs, observa-se que ele apresentou ganhos de 37,1% e 5,7% para os traços de 20% e 30%, respectivamente, em relação ao traço de referência, permanecendo o padrão demonstrado no ensaio de resistência mecânica à compressão, onde constatou-se que os valores diminuíram com o acréscimo deste resíduo. Porém, é válido citar que os resultados apresentados estão de acordo com os exigidos pela norma, recebendo a mesma classificação dada anteriormente para as argamassas com substituição do resíduo grits.

A Figura 3 demonstra uma correlação entre a resistência à compressão e à tração na flexão entre os resíduos e a referência.

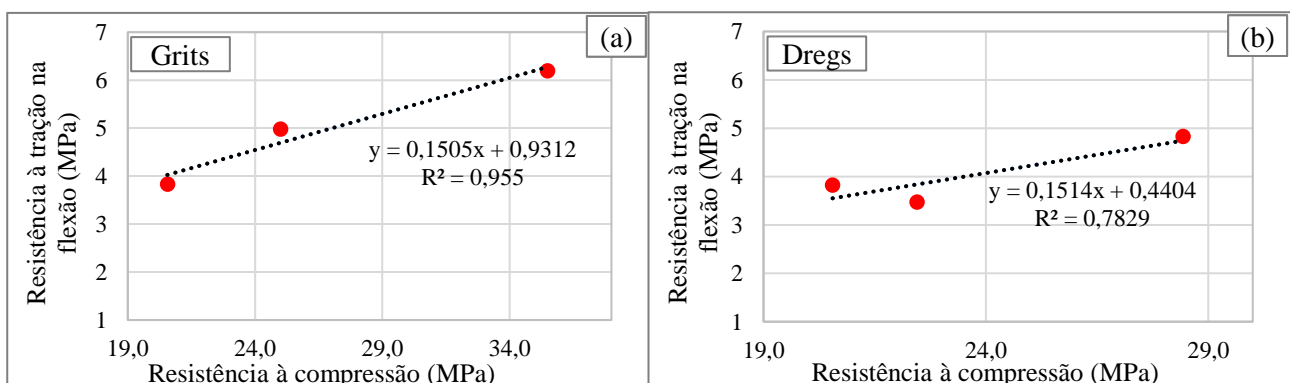


Figura 3 – Relação da resistência à compressão e à tração na flexão (a) grits e (b) dregs.

3.2 Absorção de água por capilaridade

A partir do ensaio de absorção de água por capilaridade, foi possível obter os resultados em relação ao coeficiente de capilaridade demonstrados na Figura 4, aos 14 e 28 dias, para a argamassa de referência e para as argamassas com grits e grits nas porcentagens de 20 e 30%.

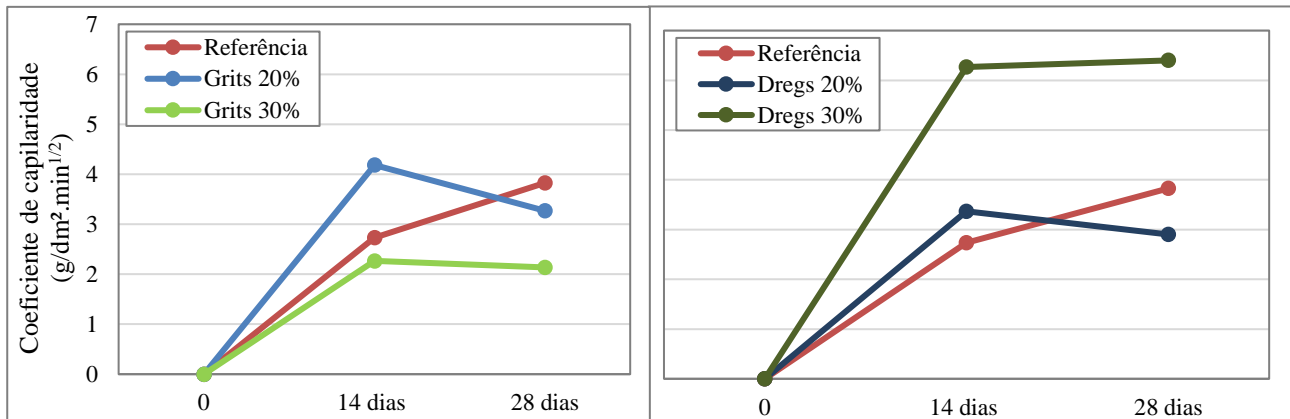


Figura 4 – Coeficiente de capilaridade das argamassas.

Para as argamassas com substituição parcial do resíduo grits em 20%, os valores encontrados foram inferiores ao de referência, aos 28 dias, na ordem de 17,0%. Com 30% de grits, a argamassa demonstrou resultados inferiores aos da argamassa de referência e grits 20% na ordem de 78,4% e 53,3% aos 28 dias, respectivamente. Com isso, é possível inferir que o aumento na porcentagem do resíduo grits na argamassa foi benéfica em relação ao coeficiente de capilaridade, visto que causou uma atenuação considerável nos valores.

Em relação as argamassas com o resíduo dregs, nota-se que aos 28 dias a substituição de 20% proporcionou um coeficiente de capilaridade inferior ao da argamassa de referência, ainda, esse traço apresenta uma queda substancial entre os 14 e 28 dias de 16,1%. A argamassa com substituição parcial de 30% de dregs evidencia valores maiores tanto em relação a argamassa de referência quanto para a argamassa com dregs em 20%, na ordem de 40,2% e 54,7%, respectivamente, aos 28 dias. Dessa forma, o aumento na porcentagem de substituição para o resíduo dregs foi prejudicial quanto aos resultados do coeficiente de capilaridade.

É possível observar que nas argamassas com 20% de substituição o grits demonstra um maior coeficiente de capilaridade na ordem de 11,3% em relação ao dregs, entretanto, quando a quantidade de resíduo utilizada na mistura é de 30%, a situação inverte-se e a argamassa com dregs apresenta um valor na ordem de 200% maior que o grits. Além disso, conforme ABNT NBR 13281:2005 [13], a argamassa grits 30% pode ser classificada como “C2” (1,0 a 2,5 g/dm².min^{1/2}), já as argamassas de referência, dregs 20% e grits 20% como “C3” (2,0 a 4,0 g/dm².min^{1/2}) e a dregs 30% como “C4” (3,0 a 7,0 g/dm².min^{1/2}).

Através da Figura 5 é possível visualizar a absorção de água por capilaridade ao decorrer do tempo de ensaio.

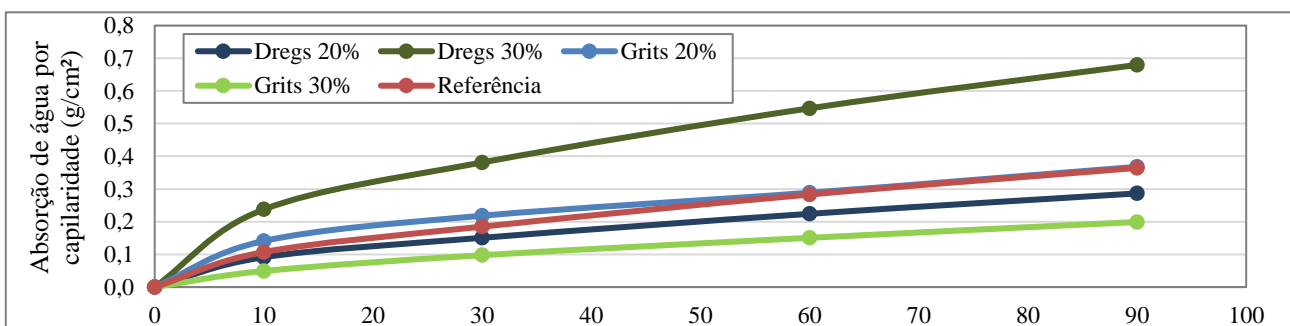


Figura 5 – Absorção de água por capilaridade.

A Tabela 3 expõe a redução (valores negativos) ou o ganho (valores positivos) de absorção de água, em porcentagem, em relação a argamassa de referência. Analisando a Figura 5 em conjunto com a Tabela 3, fica claro que, a argamassa que teve o melhor desempenho foi a Grits 30%, já que ao final do ensaio, 90 minutos, absorveu 83,1% a menos que a referência. Observa-se também que a argamassa Dregs 30% apresentou o pior desempenho com um ganho de 46,4% na absorção de água em relação a referência

Tabela 3 – Diferença da absorção de água em relação a R (%).

| | | A10 | A30 | A60 | A90 |
|-------|-----|--------|-------|-------|-------|
| Grits | 20% | 24,1 | 15,3 | 1,9 | 0,9 |
| | 30% | -118,2 | -89,6 | -88 | -83,1 |
| Dregs | 20% | -17,3 | -22,7 | -26,4 | -27,2 |
| | 30% | 54,9 | 51,5 | 48,2 | 46,4 |

A Figura 6 faz uma correlação entre o coeficiente de capilaridade e a resistência à tração na flexão das argamassas com resíduos e a de referência.

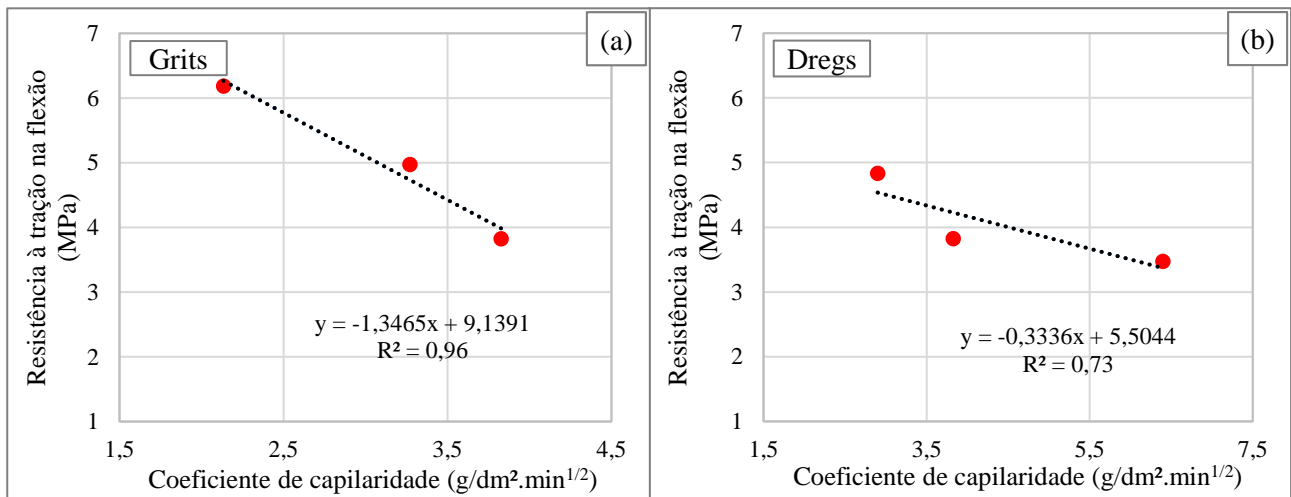


Figura 6 – Relação entre o coeficiente de capilaridade e da resistência à tração na flexão (a) grits e (b) dregs.

A Figura 7 demonstra uma relação entre o coeficiente de capilaridade e a resistência à compressão das argamassas com dregs e grits e a de referência.

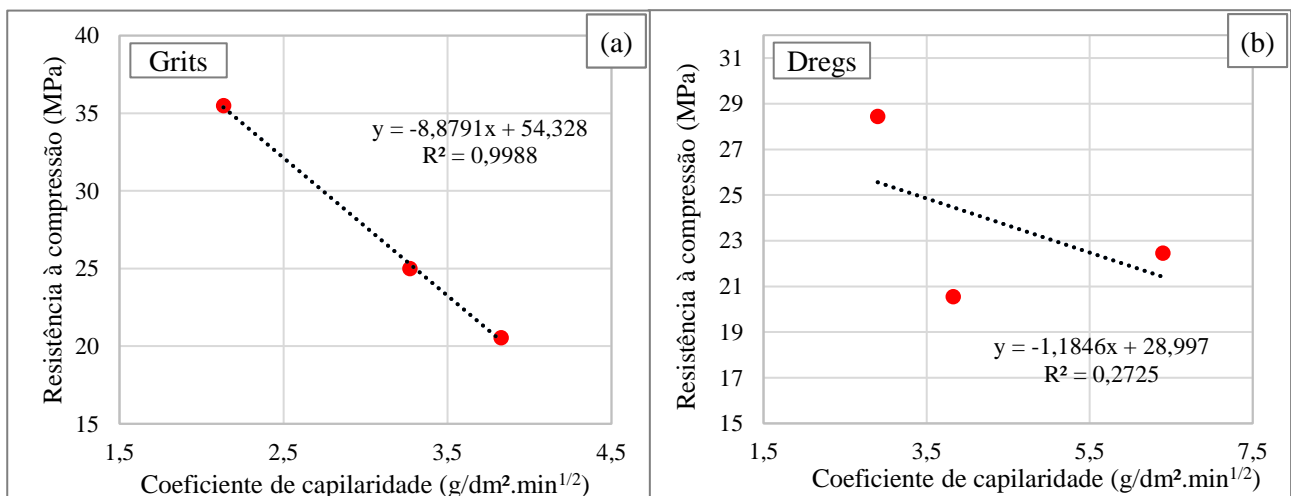


Figura 7 – Relação entre o coeficiente de capilaridade e da resistência à compressão (a) grits e (b) dregs.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo observou-se que o teor de finos presente no resíduo empregado como substituição parcial do agregado miúdo na composição de argamassas, apresentou resultados benéficos de resistência mecânica, principalmente quando foi adicionado maior quantidade do resíduo grits, que acarretou o aumento dos valores no desempenho mecânico, de acordo com as proporções estabelecidas na metodologia deste trabalho.

A presença dos resíduos da indústria de celulose em determinadas porcentagens proporcionou melhorias em relação a argamassa de referência quando analisadas sob o ponto de vista da absorção de água por capilaridade. Observou-se que o uso do resíduo dregs em 30% aumenta consideravelmente os valores de absorção e coeficiente de capilaridade.

Nas argamassas com substituição parcial de grits observou-se um grande potencial para o incremento da porcentagem de utilização. No aumento da substituição de 20% para 30% a argamassa apresentou uma melhoria nos resultados em relação a argamassa de referência. Com isso, ressalta-se a importância da análise dos parâmetros relacionados absorção de água por capilaridade visto que a presença de líquidos e o seu fácil transporte pelos poros, é um fator considerado muito prejudicial para as propriedades da argamassa de revestimento e as consequentes manifestações patológicas.

Salienta-se que todos os resultados apresentados nesse artigo são provenientes de uma pesquisa em desenvolvimento e, por isso, haverá continuação do estudo com novas condições a serem testadas, bem como a quantidade de resíduo utilizada, o tipo de aglomerante ou, até mesmo um processo de cura diferente. Com os resultados apresentados, é possível afirmar o bom desempenho que caracteriza a viabilidade da utilização das argamassas com substituição do resíduo grits nas proporções estudadas no método deste trabalho, demonstrando ser uma alternativa de material para o ramo da construção civil, além disso, a partir dos resultados obtidos é possível observar que a substituição parcial do dregs deve ser, a princípio, restringida a porcentagens inferiores a 20%.

AGRADECIMENTOS

Dedica-se este espaço para expressar os agradecimentos para Universidade Federal do Rio Grande (FURG) e seus respectivos espaços como o Grupo de Estudos de Materiais e Tecnologia da Construção (GEMTEC), o Laboratório de Materiais e Construção Civil e ao Grupo PET Engenharia Civil, por proporcionar todas as condições de instrumentação, materiais e orientação para a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] Epe/ Iea, 2021. A indústria de papel e celulose no Brasil e no Mundo. Documento WWW. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-650/Pulp%20and%20paper_EPE+IEA_Português_2022_01_25_IBA.pdf. Acesso em: 03/05/2022.
- [2] RIBEIRO, Alcidio. P. **Avaliação do uso de resíduos sólidos inorgânicos da produção de celulose em materiais cerâmicos**. 2010. 142 f. Tese de Doutorado em Engenharia de Metalúrgica e Materiais - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- [3] F.M. Martins, J.M. Martins, L.C. Ferracin, C.J. da Cunha, Mineral phases of green liquor dregs, slaker grits, lime mud and wood ash of a Kraft pulp and paper mill, **J. Hazard. Mater.** 147 (2007) 610–617. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.057>.
- [4] L. Simão, D. Hotza, F. Raupp-Pereira, J.A. Labrincha, O.R.K. Montedo, Wastes from pulp and paper mills - a review of generation and recycling alternatives - Resíduos da produção de papel e celulose - uma revisão da geração e alternativas de reciclagem, **Cerâmica**. 64 (2018) 443–453. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132018000300443&lang=pt<http://www.scielo.br/pdf/ce/v64n371/1678-4553-ce-64-371-443.pdf>.
- [5] V. Ribeiro dos Santos, M. Dezena Cabrelon, E. de Sousa Trichês, E. Quinteiro, Green liquor dregs and slaker grits residues characterization of a pulp and paper mill for future application on ceramic products, **J. Clean. Prod.** 240 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118220>.



- [6] ALVARENGA, Bruno Medeiros de; FALCÃO, Juliane Rodrigues; TESSARO, Alessandra Buss; MATTOS, Flávia Costa de. ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS UTILIZANDO RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE (DREGS E GRITS). **7º Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção Civil**. 1ed., 2021, v. 1, p. 134-141.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16541: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.
- [10] Associação Brasileira de Cimento Portland. Documento WWW. Disponível em: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/75/anexo/2relac.pdf>. Acesso em: 03/05/2022.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15259: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA SÍLICA ATIVA PARA APLICAÇÃO COMO MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR

SOTO, Nicolle Talyta Arriagada¹; MACIOSKI, Gustavo²; HOPPE FILHO, Juarez³; KLEIN, Nayara Soares⁴

¹ Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil, nicolle.a.soto@gmail.com, ORCID 0000-0003-2538-4744

² Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil, gmacioski@gmail.com, ORCID 0000-0001-8489-4328

³ Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras-BA, Brasil, juarez.hoppe@ufob.edu.br, ORCID 0000-0002-9645-6808

⁴ Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil, nayaraklein@ufpr.br, ORCID 0000-0002-7905-9608

RESUMO

Materiais cimentícios suplementares (MCS) são cada vez mais utilizados na produção de concretos e argamassas, pois permitem a redução do consumo de cimento e do impacto ambiental na indústria da construção civil. A sílica ativa segue como uma das principais adições utilizadas em concretos e argamassas e, para sua correta aplicação, uma caracterização adequada é essencial. Contudo, devido à estrutura amorfa e tamanho das partículas deste material, as técnicas de caracterização físico-químicas aplicadas a ele se diferem daquelas utilizadas no cimento Portland e demais adições. Ademais, não existe consenso sobre quais técnicas devem ser empregadas, e as normativas existentes sobre o tema são inconsistentes. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar uma caracterização físico-química detalhada da sílica ativa para aplicação como MCS, além de se estabelecer uma rotina de caracterização para esta adição. Para isso foram realizados ensaios físicos (distribuição de tamanho de partículas, microscopia) e químicos (FRX, DRX, Chapelle) sem uso de outros aglomerantes. A partir dos resultados foi possível verificar as técnicas mais adequadas de caracterização do material e discutir a dispersão do material.

Palavras-chave: sílica ativa; microssílica; nanossílica.

ABSTRACT

Supplementary cementitious materials (SCM) are increasingly used in the production of concrete and mortar because they allow the reduction of cement consumption and environmental impact in the construction industry. In addition to directly affecting the rheological properties of the composites in the fresh state, its interaction with the hydrated products of Portland cement allows the reduction of micropores and consequent improvement of mechanical properties. Silica fume is one of the most used additions in concrete and mortar. For its correct application, an adequate characterization is essential. However, due to its amorphous structure and varied particle size, physicochemical characterization techniques applied to this material differ from those used in Portland cement. Moreover, there is no consensus on which techniques should be employed, which are the minimum performance requirements for silica fume, and the existing standards on the subject are inconsistent. Thus, the aim of this work is to present a detailed physical-chemical characterization of silica fume for application as a SCM. Besides establishing a routine characterization for the addition, from the results it was possible to discuss how the characteristics found can influence the properties of Portland cementitious composites.

Keywords: silica fume; microsilica; nanosilica.

1. INTRODUÇÃO

O cimento permanece sendo o material de construção mais consumido no mundo [1]: em 2019 foram produzidas 4,08 bilhões de toneladas [2]. Com isso, estima-se que foram consumidos, no referido ano, 535 kg de cimento/habitante. A indústria do cimento é a terceira com maior consumo de energia e responde por 7% do total mundial de emissão de CO₂ [3], ficando atrás apenas das indústrias de petróleo, carvão e gás natural [4]. O *Intergovernmental Panel on Climate*

Change (IPCC) estimou que, para limitar o aumento da temperatura global em até 1,5°C, as emissões de CO₂ até 2030 devem ser reduzidas em 45% em relação às de 2010 [5].

Assim, a indústria da construção civil carece de ferramentas para mitigar este impacto ambiental, que tem sido enfrentado em três frentes: (i) reduzir o consumo de concreto, utilizando maiores resistências à compressão, de forma a atingir o desempenho esperado com menores volumes [3]; (ii) uso de adições minerais reduzindo a porcentagem de clínquer no cimento ou (iii) substituição de parte do cimento por adições minerais no processo de dosagem e produção do concreto [6]. Os materiais cimentícios suplementares (MCS) são subprodutos de outras cadeias produtivas, e chegam ao concreto com impacto ambiental e contribuição de CO₂ inferior ao cimento [3], portanto a compreensão das propriedades dos MCS é essencial para o desenvolvimento e durabilidade de concretos eco-eficientes. Tradicionalmente, tem-se empregado como MCS: escória granulada de alto forno, cinza volante, sílica ativa, metacaulim e argila calcinada. Dentre estes, a sílica ativa é o MCS com menor dimensão de partícula e elevada reatividade.

A sílica ativa (em inglês chamada de *silica fume*), de acordo com a NBR 13956 [7], é uma pozolana de alta reatividade constituída essencialmente de partículas esféricas com diâmetros menores que 1µm de sílica no estado amorfo. É coletada nos filtros de mangas dos fornos elétricos, a partir dos gases gerados durante a produção de silício metálico ou ligas de ferrosilício. Estima-se que a produção anual de sílica ativa seja de cerca de 1,5 milhão de toneladas no mundo [8], o que representa 0,04% do montante de cimento produzido em 2019 (4,08 bilhões de toneladas). A baixa oferta de sílica ativa, atrelada a sua alta reatividade e alto valor agregado, induzem o seu uso em concretos especiais, onde a durabilidade é preponderante. Nas aplicações correntes, há uma tendência mundial em ampliar o uso de argila calcinada como MCS.

A sílica ativa pode ser comercializada (i) em pó, não densificada ou no estado natural, (ii) em pasta de água (*slurry*) para facilitar seu transporte, (iii) densificada, após compressão mecânica ou por ar comprimido, e ainda (iv) em pérolas, após mistura e agitação com baixa quantidade de água. A depender do tamanho de suas partículas, ela pode ser ainda comercializada como nanossílica ou microssílica. A ACI 234R [9] apresenta um guia para uso da sílica ativa em concreto e destaca que, além da sílica ativa obtida na indústria metalúrgica, também são comercializadas sílicas sintéticas, de custo mais elevado, como a sílica pirogênica, sílica precipitada, sílica gel e sílica coloidal, porém destaca que a maior parte das aplicações em concreto e publicações existentes sobre o tema utilizam sílica densificada, que segundo a NBR 13956 [7] apresenta densidade aparente no estado solto acima de 350kg/m³.

De acordo com a NBR 13956, a elevada área superficial da sílica ativa melhora aspectos reológicos no estado fresco de compósitos cimentícios, contribuindo na retenção de água, aumento da coesão, redução da exsudação e segregação. Autores [10][11][12] ainda destacam que a sílica ativa, ao reagir com o Ca(OH)₂ proveniente da hidratação do cimento Portland, forma silicato de cálcio hidratado (C-S-H) secundário, conferindo aos compósitos propriedades especiais relacionadas à durabilidade e ao desempenho mecânico.

Devido ao seu alto grau de amorfismo e reduzido tamanho de partículas, muitas das técnicas aplicáveis aos demais MCS se diferem das técnicas que permitem uma correta caracterização da sílica ativa. Ademais, as normativas acerca do tema no Brasil encontram-se desatualizadas e existe a necessidade de um procedimento detalhado para a caracterização deste material. Logo, o objetivo deste trabalho é apresentar uma caracterização físico-química detalhada da sílica ativa para aplicação como MCS. O planejamento experimental buscou técnicas de caracterização que não dependessem do uso de outros aglomerantes.

2. SÍLICA ATIVA COMO MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR

2.1 Requisitos físico-químicos

Algumas das características físico-químicas da sílica ativa influenciam diretamente sua capacidade de preenchimento de vazios e de reação, como: distribuição de tamanho de partículas, área específica, composição química, cristalinidade (fases cristalinas e conteúdo amorfo), entre outros. No Brasil, materiais pozolânicos são definidos pela ABNT NBR 12653 [13] como “materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes”. Todavia, na literatura estrangeira, este tipo de material é chamado de MCS, terminologia cada vez mais utilizada também no Brasil como forma de padronização.

A NBR 12653 [13] apresenta os requisitos de pozolanas naturais e artificiais (classe N), e a ABNT 13956-1 [7] estabelece os requisitos da sílica ativa para uso em pastas, argamassas e concretos de cimento Portland – apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Requisitos normativos para pozolanas convencionais (NBR 12653) e sílica ativa (NBR 13956-1).

| | Requisito | NBR 12653 | ABNT 13956-1 |
|---------|--|----------------------|--|
| Químico | $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\geq 70\%$ | - |
| | SiO_2 | - | $\geq 85\%$ |
| | SO_3 | $\leq 4\%$ | - |
| | Teor de umidade | $\leq 3\%$ | $\leq 3\%$ |
| | Perda ao fogo | $\leq 10\%$ | $\leq 6\%$ |
| | Álcalis disponíveis (Na_2O) | $\leq 1,5\%$ | - |
| Físicos | Material retido em $45\mu\text{m}$ | $\leq 20\%$ | $\leq 10\%$ |
| | Índice de desempenho (cimento 7 dias) | - | $\geq 105\%$ |
| | Índice de desempenho (cimento 28 dias) | $\geq 90\%$ | - |
| | Índice de atividade pozolânica (cal 7 dias) | $\geq 6 \text{ MPa}$ | - |
| | Área específica B.E.T. (opcional) | - | $15 \geq \text{B.E.T.} \geq 30 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ |

Pode-se observar que os requisitos para a classificação do material como pozolana e sílica ativa são diferentes, o que traz certo grau de dificuldade na classificação. Por exemplo, o material retido na peneira $45\mu\text{m}$ difere entre as normas e é menor para a sílica ativa, por tratar-se de um MCS mais fino que os demais. Além disso, o teor mínimo de óxidos especificado pelas normas relaciona-se com o valor total determinado pela análise química, e não exclusivamente àqueles elementos que participam da reação, uma vez que elementos em estado cristalino, ou que não possuem capacidade de reação com o hidróxido de cálcio, não formarão C-S-H secundário.

Pelas normativas do ensaio do índice de atividade pozolânica (IAP) com hidróxido de cálcio (NBR 5751 [14]) e do índice de desempenho (ID) com cimento Portland (NBR 5752 [15]) a avaliação da atividade pozolânica relaciona-se com a resistência mecânica de misturas entre a pozolana e cal ou cimento. As normas, porém, apresentam ensaios e parâmetros distintos, fato que dificulta a interpretação. Fatores como o tipo de aglomerante, finura e grau de amorfismo do MCS irão influenciar diretamente nos resultados obtidos. Neste contexto, outras metodologias têm sido aplicadas para a avaliação da reatividade de MCS.

2.2 Ensaios de reatividade

Uma abordagem cada vez mais utilizada no estudo de MCS, não presente nas normativas supracitadas, é a avaliação da sua capacidade de combinação química. A reatividade pode ser avaliada pela capacidade da pozolana fixar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ em solução. A versão modificada do Método Chappelle - NBR 15895 [16] é a metodologia mais aplicada, mas ensaios como Frattini também podem ser utilizados.

Para o metacaulim, por exemplo, é estabelecido consumo mínimo de 700 mg de $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{g}$ de material para que possa ser classificado como pozolânico [17]. Contudo, para os demais MCS não há valores mínimos de consumo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Alguns estudos utilizam como referência a publicação feita por Raverdy et al. [18], que estabelecem um índice arbitrário de fixação de 436 mg de $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{g}$ de pozolana como mínimo para classificação de materiais como reativos.

Outra abordagem na avaliação da reatividade de MCS, que está em processo de normatização pelo comitê técnico 267-TRM da RILEM, é a análise da capacidade de reação do MCS por meio de ensaios de termogravimetria de pastas de cimento.

2.3 Dispersão da sílica

A dispersão e caracterização da distribuição das partículas da sílica ativa têm sido tema de muita discussão. Apesar de diferentes técnicas poderem ser empregadas, a granulometria por difração a laser e espalhamento dinâmico de luz são as mais indicadas a depender da faixa de leitura dos equipamentos. A caracterização do tamanho de partículas por ensaios de microscopia não é indicada devido à reduzida área amostral e maior variabilidade de resultados [19].

Quando se trata de partículas finas, especial atenção deve ser dada a aglomeração, pois as forças como as de Van der Waals, cargas eletrostáticas e ligações químicas são maiores que as forças que podem separar os aglomerados (gravidade de cisalhamento), e esse efeito faz com que as partículas se aglomerem [20]. Tendo em vista a aglomeração da sílica ativa e sua comercialização na forma densificada, técnicas de dispersão têm sido estudadas para permitir sua correta caracterização e aplicação. A forma de dispersão de partículas mais indicada para nanomateriais é através de tratamento com ultrassom por pelo menos 15 minutos com uso de algum agente dispersante [19][21].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foi analisada uma sílica ativa densificada comercializada no Brasil. A massa específica da sílica foi determinada pela NBR 16605 [22]. A distribuição granulométrica do material foi obtida por duas diferentes técnicas:

i. Difração à laser em analisador de tamanho de partículas (CILAS 920), com capacidade para leituras entre 0,3 e 400 μm , utilizando LASER diodo de 850 nm. A dispersão do material foi realizada primeiramente por pulverização em peneira de 355 μm , seguida de dissolução em água e aplicação do ultrassom embutido no aparelho (38000 Hz), por 60 segundos [23][24].

ii. *Dynamic Light Scattering* - DLS (Microtrac Nanotrac), laser em 785nm e capacidade de leitura entre 0,8nm e 6,3 μm . A dispersão foi realizada por dissolução em (a) água destilada com 5% de dispersante em relação ao volume de solvente (PowerFlow 4001, base policarboxilato) e (b) álcool isopropílico. A amostra foi diluída na proporção de 2mg/ml em 50ml da solução e dispersada em lavadora de ultrassom (Schuster L-100, 160W, 42000 Hz) por 15 minutos. Na Figura 1 é possível observar a sílica antes e após a dispersão em banho de ultrassom. Cerca de 3ml do material em suspensão foi adicionado a uma cubeta de vidro para realização do ensaio, que realizou a média de 4 varreduras de 30s cada. A análise foi realizada pela técnica de reflexão e foram utilizados os dados fornecidos pelo equipamento para o índice de refração (água = 1,333; álcool isopropílico = 1,377) e viscosidade (água = 0,891cP; álcool isopropílico = 2,05cP) dos líquidos.

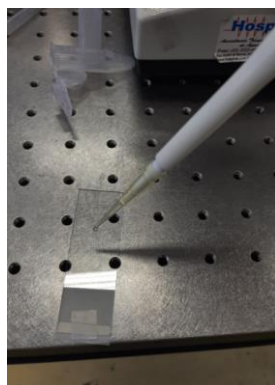


Figura 1 – Solução de sílica antes e após dispersão em banho de ultrassom

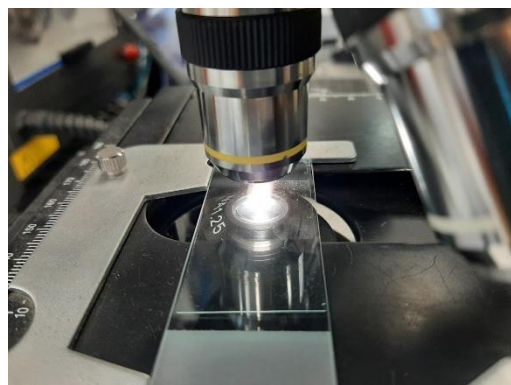
A sílica ainda foi analisada em microscópio de luz transmitida (XSZ-N107, Amtechhe) com câmera digital (96 dpi). Para obtenção das imagens, 0,1g de amostra foi diluída em 10ml de álcool isopropílico, a amostra foi então agitada em misturador vórtex e uma gota da solução foi colocada sobre a lamínula do microscópio para a leitura. Os procedimentos de preparo da lamínula podem ser observados na Figura 2.



(a) Dispersão em agitador Vortex



(b) Aplicação em lamínula com micropipeta



(c) Observação da amostra em microscópio de luz transmitida

Figura 2 – Preparo da amostra para microscopia

A composição química da sílica foi determinada por fluorescência de raios X (FRX) em espectrômetro de fluorescência de raios X por dispersão de comprimento de onda (Rigaku ZSX Primus II). A análise foi realizada após pulverização do material em peneira de 355 μm e prensagem em forma de pastilha, utilizando ácido bórico como aglutinante. Os resultados da análise química foram devidamente corrigidos pela perda ao fogo realizada em mufla à 950°C conforme determina NBR NM 18 [25].

A composição mineralógica do material foi realizada por difração de raios X (DRX), utilizando difratômetro de raios X (Rigaku, Ultima IV, operando a 40kV/30mA). Os parâmetros de ensaio foram: ângulo de 5° a 75°, passo de 0,02° e velocidade de varredura de 2°/min. A análise dos resultados foi realizada a partir do banco de dados cristalográfico do COD (*Crystallography Open Database*) de 2021. Para a quantificação das fases minerais e do teor amorfo foi adicionado às amostras 5% em massa de rutilo (óxido de titânio PA tratado à 1000°C), e aplicado o método de refinamento numérico de Rietveld.

O teor de hidróxido de cálcio fixado (Chapelle Modificado) foi realizado de acordo com a NBR 15895 [16]. Para a realização do ensaio a sílica ativa foi previamente pulverizada em peneira 0,075mm. Posteriormente óxido de cálcio P.A. e a sílica foram misturados na proporção 2:1 em massa à temperatura de 90°C por 16 horas em solução com água destilada. Após o período determinado, o teor de cal remanescente (livre) foi titulado com ácido clorídrico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após caracterização, a sílica ativa apresentou massa específica de 1,972 g/cm³ e Chapelle modificado de 1276,76 mg de Ca(OH)₂/g de material. A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização química.

Tabela 2 – Composição química e características físicas da sílica ativa.

| Elemento | Teor (%) |
|--------------------------------|----------|
| SiO ₂ | 94,07 |
| Al ₂ O ₃ | 0,20 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,06 |
| CaO | 0,31 |
| SO ₃ | 0,12 |
| MgO | 0,71 |
| K ₂ O | 0,82 |
| Outros traços (< 0,1%) | 0,54 |
| Perda ao fogo | 3,17 |
| TOTAL | 100,00 |

A adição apresentou resultado no ensaio Chapelle modificado 192% superior ao limite de 436 mg de Ca(OH)₂/g de pozolana, estabelecido por Raverdy et al. [18]. Assim, quanto maior este resultado, melhor será a capacidade de combinação do MCS com a portlandita durante a hidratação do cimento. Por este motivo o estabelecimento de faixas de reatividade poderia ser uma abordagem interessante para a classificação dos MCS.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 2 é possível verificar que a sílica ativa atende aos requisitos químicos da NBR 13956-1 [7] para ser classificada como material pozolânico. Contudo, o que garante a alta reatividade da sílica é seu grau de amorfismo e os critérios químicos para a classificação de pozolanas não considera como os elementos químicos estão organizados no material – o que influencia diretamente a facilidade de dissolução do MCS e precipitação de fases hidratadas.

A distribuição granulométrica da sílica ativa, realizada por diferentes técnicas, pode ser observada na Figura 3.

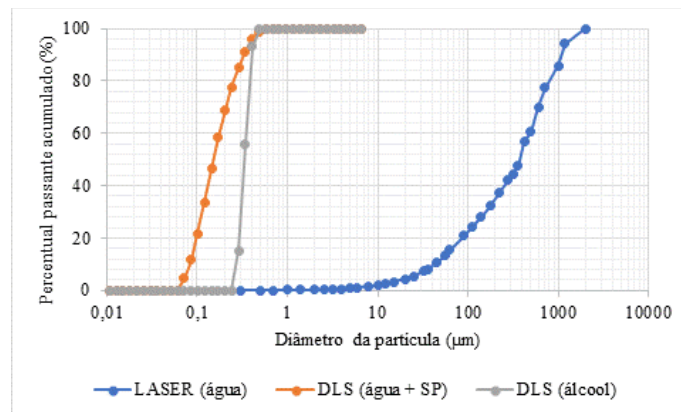


Figura 3 – Distribuição granulométrica por Difração à laser (LASER) e *Dynamic Light Scattering* (DLS)

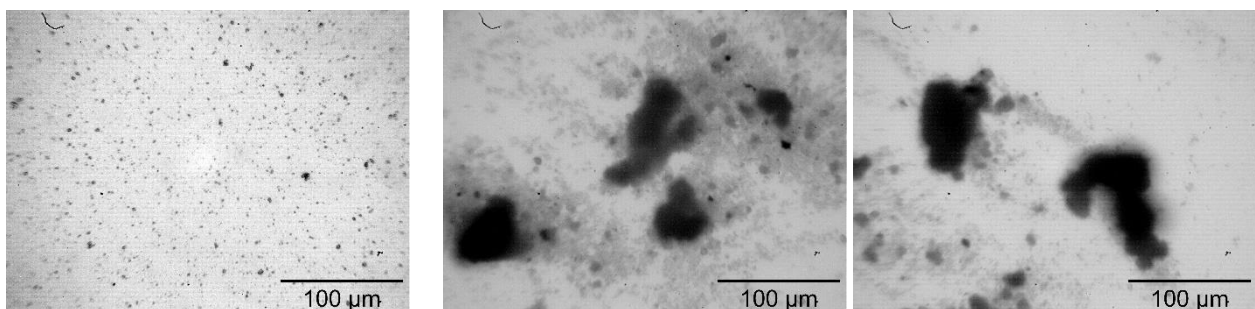
Os seguintes diâmetros característicos médios foram obtidos: 371,76 µm no ensaio por difração a laser; 0,153 µm e 0,336 µm no ensaio DLS feito com água + SP e álcool, respectivamente. Esta variação nos resultados do ensaio DLS está relacionada à dispersão da sílica na solução. Enquanto o álcool isopropílico apresenta viscosidade de $2,256 \times 10^{-3}$ Pa.s, a água apresenta $1,002 \times 10^{-3}$ Pa.s. A presença de superplastificante policarboxilato na solução com água reduz ainda mais sua viscosidade, permitindo uma melhor dispersão das partículas.

Ao se analisar os resultados da distribuição granulométrica da sílica obtido no granulômetro a laser é possível observar que o diâmetro médio é incoerente com a literatura. O valor elevado para o diâmetro médio encontrado pode ter sofrido influência do tipo de sílica estudada (densificada), e forma de dispersão (em água, por 60 segundos).

Complementarmente, foi possível verificar no ensaio de microscopia (Figura 4) que a sílica ativa, de fato, apresenta partículas bastante inferiores a 100 µm e, portanto, muito inferiores ao diâmetro médio obtido pelo ensaio de difração a laser. Pela dispersão do material ter sido realizado em agitador vórtex, ainda foi possível observar alguns aglomerados de sílica – aglomerados estes que podem ter causado a alteração nos resultados de granulometria a laser.

A partir dos resultados obtidos por DLS pode-se classificar o material como nanossílica, pelo mesmo apresentar parte de suas partículas na faixa de nanômetros [26]. Devido a classificação como nanossílica, à falta de dispersão (realizada por apenas alguns segundos no equipamento), a impossibilidade de uso de aditivo superplastificante (não permitido pelo operador do equipamento), e a baixa capacidade de detecção de partículas inferiores a 0,3 µm, pode-se afirmar que a granulometria por difração à laser não é indicada para a caracterização de partículas finas como nanossílica.

Assim, conclui-se que a metodologia de ensaio DLS em água com superplastificante mostrou-se a mais eficiente na avaliação da distribuição do tamanho de partículas do material.



(a) Sílica dispersa

(b) Aglomerados de sílica

Figura 4 – Microscopia de transmissão da sílica ativa

A partir dos resultados do ensaio de DRX foi obtido o difratograma apresentado na Figura 5. Destaca-se que a presença de picos de rutilo (TiO_2) na amostra ocorre devido à adição prévia de 5% em massa de TiO_2 nas amostras.

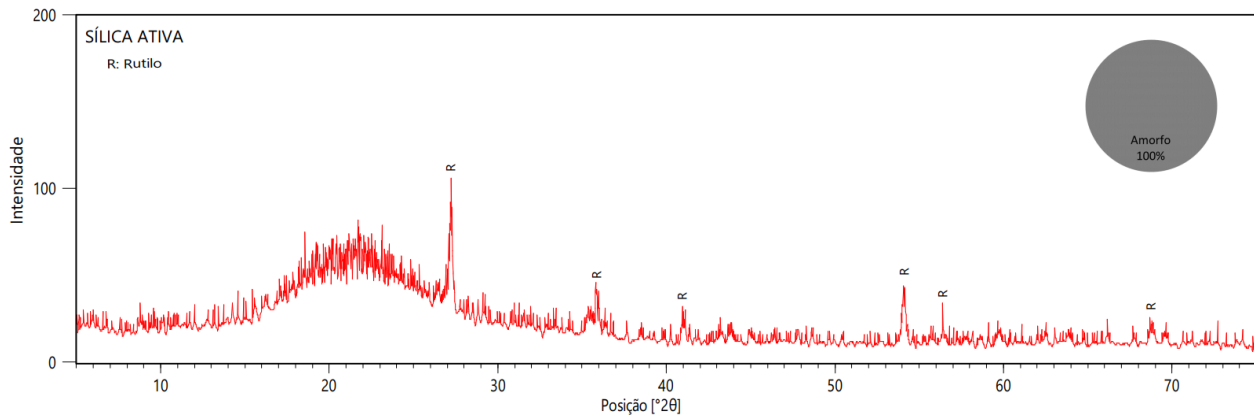


Figura 5 – Difratometria de raios X da sílica ativa

A sílica ativa apresentou em sua análise química teor elevado de SiO_2 , que se encontra no material de forma desorganizada e sem estrutura cristalina definida (amorfismo). Por este motivo não foi possível detectar picos cristalinos e observa-se halo na linha de base entre 10° e 30° . A quantificação e fases cristalinas e determinação do conteúdo amorfo de MCS combinada à análise química pode auxiliar na determinação dos elementos disponíveis para reação, em especial da sílica amorfa, que no caso da sílica ativa compreende a maior parcela do material.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que:

- As normativas existentes no Brasil que estabelecem os requisitos e métodos de ensaio para pozolanas e sílica ativa para uso em compósitos cimentícios se encontram desatualizadas e diferem das técnicas que vêm sendo implementadas no exterior para a avaliação de MCS;
- A sílica ativa avaliada apresenta composição química rica em silício e baixo teor de contaminantes, além de uma estrutura completamente amorfa;
- A correta avaliação da distribuição de tamanho de partículas da sílica ativa exige o uso de técnicas de dispersão com ultrassom e pode não ser possível sua avaliação por granulometria de difração a laser;
- A avaliação da capacidade de combinação química da sílica ativa (pelo ensaio Chapelle modificado) mostrou-se eficiente na avaliação da reatividade do MCS, mas as normativas ainda carecem de limites para a classificação de diferentes MCS.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório Multiusuário de Fotônica (Multi-Foton) e FotoNanoBio da UTFPR, ao Complexo de Laboratórios Multiusuários (c-labmu) da UEPG e ao Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) da UFPR.

REFERÊNCIAS

- [1] CARVALHO, J. M. F.; MELO, T. V. D.; FONTES, W. C.; BATISTA, J. O. D. S.; BRIGOLINI, G. J.; PEIXOTO, R. A. F. More eco-efficient concrete: An approach on optimization in the production and use of waste-based supplementary cementing materials. *Construction and Building Materials*, v. 206, p. 397–409, 2019.
- [2] U.S. GEOLOGICAL SURVEY. *Mineral commodity summaries 2020*. Reston, 2020.
- [3] DE MATOS, P. R.; SAKATA, R. D.; PRUDÊNCIO, L. R. Eco-efficient low binder high-performance self-compacting concretes. *Construction and Building Materials*, v. 225, p. 941–955, 2019.

- [4] NAZARI, A.; SANJAYAN, J. G. **Handbook of low carbon concrete**. Butterworth-Heinemann, 2016.
- [5] MASSON-DELMOTTE, V. et al. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change. **Geneva: World Meteorological Organization**, 2019.
- [6] MEDEIROS, M. H. F.; RAISDORFER, J. W.; HOPPE FILHO, J. Influência da sílica ativa e do metacaulim na velocidade de carbonatação do concreto: relação com resistência, absorção e relação a/c. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, p. 125–139, 2017 a.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13956-1 - **Sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.
- [8] FIDJESTOL, P.; DASTOL, M. The history of silica fume in concrete from novelty to key ingredient in high performance concrete. In: **Proceedings of the Congresso Brasileiro do Concreto**. 4th-9th Sept. 2008.
- [9] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. PRC-234-06: **Guide for the Use of Silica Fume in Concrete** (Reapproved 2012). Detroit, 2006.
- [10] LOTHENBACH, B.; SCRIVENER, K.; HOOTON, R.D. Supplementary cementitious materials. **Cement and concrete research**, v. 41, n. 12, p. 1244-1256, 2011.
- [11] SCRIVENER, K.; LOTHENBACH, B.; DE BELIE, N.; GRUYAERT, E.; SKIBSTED, J.; SNELLINGS, R.; VOLLPRACHT, A. TC 238-SCM: hydration and microstructure of concrete with SCMs. **Materials and Structures**, v. 48, n. 4, p. 835-862, 2015.
- [12] YANG, H.; MONASTERIO, M.; ZHENG, D.; CUI, H.; TANG, W.; BAO, X.; CHEN. X Effects of nano silica on the properties of cement-based materials: a comprehensive review. **Construction and Building Materials**, v. 282, p. 122715, 2021.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653 - **Materiais pozolânicos — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2015.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5751 - **Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias**. Rio de Janeiro, 2015.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5752 - **Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro, 2014.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15895 - **Materiais pozolânicos - Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado - Método Chapelle modificado**. Rio de Janeiro, 2010.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15894-1 - **Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2010.
- [18] RAVERDY, M.; BRIVOT, F.; PAILLERE, A. M.; DRON, R. Appréciation de l'activité pouzzolanique de constituents secondaires. **Proceedings of the 7th International Congress on the Chemistry of Cement.**, v. 3, p. 36–41, 1980.
- [19] DIAMOND, S.; SAHU, S. Densified silica fume: particle sizes and dispersion in concrete. **Materials and Structures**, v. 39, n. 9, p. 849-859, 2006.
- [20] PIETSCH, W. Size enlargement by agglomeration. In: **Handbook of powder science & technology**. Springer, Boston, MA, 1997. p. 202-377.
- [21] SCRIVENER, K; SNELLINGS, R.; LOTHENBACH, B. (Eds) **A practical guide to microstructural analysis of cementitious materials**. Boca Raton, FL, USA. Crc Press, 2016.

- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605 - **Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.
- [23] DE ALMEIDA, W. F.; MATINC, C.; MENDES, A. B.; KONRAD, O. Efeitos do uso de frequência de ultrassom na dispersão de sedimentos agregados. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 3, p. 97–111, 2017.
- [24] DAMINELLI, B. L.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Influence of packing and dispersion of particles on the cement content of concretes. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 10, n. 5, p. 998–1024, 2017.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 18 - **Cimento Portland — Análise química — Determinação de perda ao fogo**. Rio de Janeiro, 2012 a.
- [26] HUPFFER, H.M.; LAZZARETTI, L.L. Nanotecnologia e sua regulamentação no Brasil. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 16, n. 3, p. 153-177, 2019.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

**TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS DREGS PARA A PRODUÇÃO DE
LIGANTES ÁLCALI-ATIVADOS**

OLIVEIRA, Cecilia Prado de¹; MOTTA, Leila Aparecida de Castro²

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, ceciliaprado@ufu.br, 0000-0002-2528-3516

² Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, lacastro@ufu.br

RESUMO

O alto impacto ambiental associado à indústria de cimento *Portland*, aliado à busca por propriedades específicas, estimula o interesse por alternativas aos ligantes tradicionais, entre as quais destacam-se os ligantes álcali-ativados. Neste trabalho, investigou-se o tratamento térmico de resíduos dregs, provenientes da indústria de papel e celulose, com o objetivo de obter-se óxido de cálcio reativo para a produção de ligantes álcali-ativados. Os resíduos foram moídos, peneirados e calcinados em diferentes condições de tempo e temperatura. Por meio das metodologias de superfície de resposta e análise termogravimétrica, foram definidos os valores de 915 °C e 2 h para a descarbonatação da calcita em 100 g do resíduo. O material calcinado nas condições estabelecidas foi submetido a caracterização. Foram realizados ensaios de termogravimetria, fluorescência de raios-X, perda ao fogo, difração de raios-X e granulometria a laser. Os resultados indicam a eficiência do tratamento quanto à eliminação de CaCO₃, obtenção de CaO e diminuição da perda ao fogo. Acredita-se que o tratamento térmico dos dregs nas condições indicadas irá beneficiar as propriedades dos ligantes produzidos com esses resíduos.

Palavras-chave: ligantes álcali-ativados; dregs; tratamento térmico; resíduos.

ABSTRACT

The environmental impact associated the Portland cement production, in addition to the need for specific properties, encourages the search for alternative binders, such as alkali activated materials. In this paper, the possibility of performing a thermal treatment on green liquor dregs to obtain calcium oxide for the production of alkali activated binders was investigated. The residues were milled, sieved and calcinated at different conditions. It was determined through technics of thermogravimetric analysis and surface response methodology that the calcination at 915 °C for 2 h decarbonates 100 g of green liquor dregs. A sample of the residue was treated at the conditions established, and was then analyzed through thermogravimetric analyses, X-ray florescence, loss on ignition, X-ray diffraction and laser diffraction granulometry. The results suggest that the treatment is efficient in eliminating CaCO₃, obtaining CaO and decreasing the loss on ignition. It is believed that the thermal treatment of green liquor dregs at the conditions established will enhance the properties of alkali activated binders produced with the residue.

Keywords: alkali activated binders; green liquor dregs; thermal treatment; residues.

1. INTRODUÇÃO

A indústria do cimento *Portland* é responsável por elevado impacto ambiental, especialmente no que concerne a emissões de dióxido de carbono. Estima-se que entre 5 e 8% das emissões globais de CO₂ sejam provenientes da produção de cimento, percentual que tende a aumentar com o crescimento populacional [7]. Dessa forma, o interesse por alternativas aos ligantes tradicionais é crescente, sendo estimulado ainda pela busca por misturas com propriedades específicas e desempenho adequado a diferentes tipos de aplicações [5].

Nesse contexto, os ligantes álcali-ativados, obtidos partir da reação entre uma fonte de aluminossilicato e um ativador alcalino [13], destacam-se pela performance semelhante ao cimento *Portland*, aliada à redução das emissões de dióxido

de carbono [17] [5]. Ademais, a incorporação de resíduos como materiais precursores para a produção de ligantes álcali-ativados potencializa as vantagens ambientais associadas a esses materiais.

Os dregs são resíduos sólidos obtidos na clarificação do licor verde durante o processo de polpação kraft [3]. Esses resíduos, cujo principal constituinte é o carbonato de cálcio (CaCO_3), são insolúveis e altamente alcalinos, o que dificulta sua reciclagem e ocasiona altos custos financeiros e ambientais associados ao seu descarte em aterros industriais [8].

Nota-se que os dregs foram pouco investigados quanto ao seu potencial para a produção de materiais álcali-ativados. Novais *et al.* [10] [11] e Saeli *et al.* [15] relatam um aumento na resistência mecânica dos ligantes mediante a adição de dregs como fíleres em misturas álcali-ativadas. Entretanto, destaca-se que a incorporação de dregs como materiais precursores das reações seria ainda mais benéfica, pois permitiria o aproveitamento de porcentagens maiores do resíduo. Porém, de acordo com Novais *et al.* [10], não há mudanças significativas nas reações de ativação alcalina em decorrência do uso de dregs, o que seria um indício da não-reatividade desses materiais nas condições estudadas.

Diante disso, propõe-se neste estudo o tratamento térmico de dregs para a obtenção de óxido de cálcio reativo a partir da descarbonatação do carbonato de cálcio presente nos resíduos. Nesse sentido, destacam-se os estudos de Provis *et al.* [14], Temuujin, Van Riessen e Williams [16] e Yip e Van Deventer [18], que indicam o incremento nas propriedades mecânicas e durabilidade de ligantes álcali-ativados em decorrência da adição de óxido de cálcio nas misturas, devido à formação de géis C-A-S-H e C-S-H.

O objetivo deste trabalho compreende a definição das condições ideais para que o tratamento térmico dos resíduos ocorra com o mínimo gasto energético, além da caracterização do material calcinado para a comprovação da eficácia do tratamento e a análise das propriedades que possam influenciar o desempenho de ligantes álcali-ativados.

2. METODOLOGIA

Os dregs empregados nesta pesquisa foram doados pela empresa Susano S.A., localizada em Três Lagoas – MS. Os resíduos foram secos em estufa, em temperatura de $100\text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h. A perda ao fogo dos dregs secos foi determinada por Oliveira [12], que obteve um valor médio de 38,13% em temperatura de $1000\text{ }^\circ\text{C}$, conforme metodologia estabelecida na ABNT NBR NM 18:2012. A Figura 1 apresenta o difratograma do material, obtido com auxílio de difratômetro Shimadzu XRD6000, com velocidade de varredura de $2^\circ/\text{min}$. As principais fases minerais identificadas foram a Calcita (CaCO_3), a Larnita (Ca_2SiO_4), a Merwinita ($\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$) e a Pirssonita ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

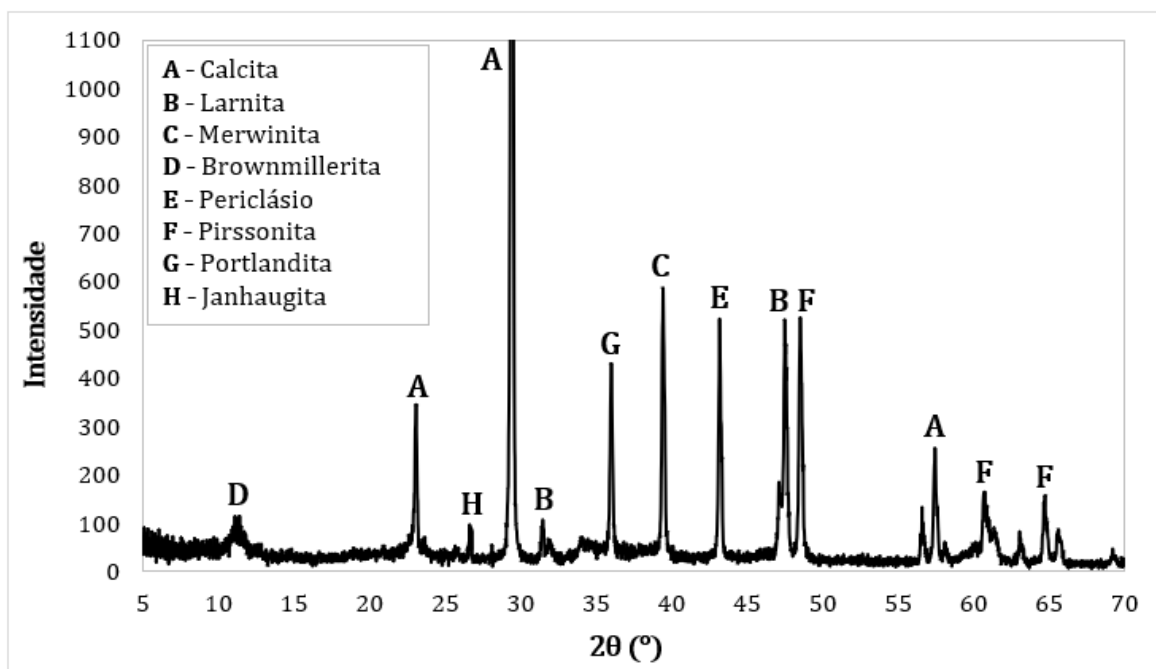


Figura 1 – Difratograma dos dregs antes do tratamento térmico.

2.1 Preparação das amostras

Os dregs foram moídos durante 3 min em frações de 300 g, em liquidificador industrial Skymesen LC8. Posteriormente, os resíduos foram submetidos a processo de peneiramento, no qual selecionou-se o material passante na peneira UBS 16 (1,19 mm). A Figura 2 retrata o material antes e depois dos procedimentos descritos.



Figura 2 – Dregs antes (a) e depois (b) de moagem e peneiramento.

2.2 Definição das condições ideais para o tratamento térmico

Foi realizada análise termogravimétrica (TGA) dos dregs, de modo a determinar o perfil de decomposição térmica dos resíduos e obter dados referentes à perda de massa decorrente da descarbonatação da calcita. O ensaio de termogravimetria foi efetuado com equipamento Shimadzu TGA-51-H e cadinho de alumínio. A amostra foi aquecida em atmosfera oxidante, à taxa de 5 °C/min, de 25 a 1.100 °C.

A determinação das condições ideais para o tratamento térmico dos dregs ocorreu por meio da calcinação de amostras de 100 g do resíduo em forno mufla, conforme os valores de tempo e temperatura apresentados na Tabela 2, que representa a matriz de planejamento para o experimento fatorial 2^k com dois fatores de controle e ponto central. Os valores mínimos e máximos das variáveis tempo e temperatura foram baseados nos estudos de Martins *et al.* [9] e Gamelli, Camargo e Brescansin [4] acerca do tratamento térmico de resíduos dregs. Posteriormente à calcinação, as amostras foram pesadas para a definição da perda de massa ocasionada pelo tratamento.

Tabela 1 – Matriz do planejamento experimental.

| Variáveis codificadas | | Variáveis decodificadas | |
|-----------------------|----|-------------------------|-----------|
| X | Y | Temperatura (°C) | Tempo (h) |
| 1 | 1 | 1.000 | 3 |
| -1 | -1 | 800 | 1 |
| 0 | 0 | 900 | 2 |
| -1 | 1 | 800 | 3 |
| 1 | -1 | 1.000 | 1 |

2.3 Caracterização dos dregs tratados termicamente

De modo a determinar a eficiência do tratamento térmico nas condições determinadas como ideais na etapa anterior, foi calcinada uma amostra de 100 g do resíduo para caracterização, conforme o tempo e a temperatura definidos. A amostra foi pesada após o tratamento para a confirmação da perda de massa esperada.

Foi efetuada a análise termogravimétrica de 6,14 mg dos dregs calcinados, com equipamento Shimadzu TGA-51-H e cadinho de alumínio. De modo análogo à análise realizada anteriormente ao tratamento, foi aplicada taxa de aquecimento de 5 °C/min, em atmosfera oxidante, de 25 a 1.000 °C.

A composição de óxidos foi determinada por meio de Fluorescência de Raios-X (FRX). Para tanto, foram preparadas pastilhas fundidas do material em máquina de fusão da marca Fluxana. As pastilhas foram analisadas com auxílio de espectrômetro Bruker S8 Tiger. Adicionalmente, foi determinada a perda ao fogo a 1.000 °C, de acordo com os procedimentos definidos na ABNT NBR NM 18:2012.

Os resíduos tratados foram submetidos a ensaio de Difração de Raios-X (DRX), com difratômetro Shimadzu XRD6000. Foi analisado o intervalo de 10 a 50°, à velocidade de 2°/min e passo de 0,02°. As fases do difratograma obtido foram identificadas com auxílio do software X'Pert Highscore Plus.

Por fim, foi determinada a granulometria dos dregs calcinados, por meio de difração a laser efetuada com equipamento Mastersizer 2000 – Malvern Instruments. O intervalo de detecção do ensaio foi de 0,02 a 2.000 µm e o meio dispersante utilizado foi a água deionizada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Definição das condições ideais para o tratamento térmico

A Figura 3 apresenta a curva termogravimétrica da dregs analisada anteriormente ao tratamento térmico, na qual percebe-se a presença de um estágio de perda inicial de massa, atribuído por Martins *et al.* [9] à perda de voláteis e desidratação da Pirssonita. Posteriormente, tem-se a decomposição referente à descarbonatação da calcita. A perda de massa total no ensaio foi da ordem de 34%.

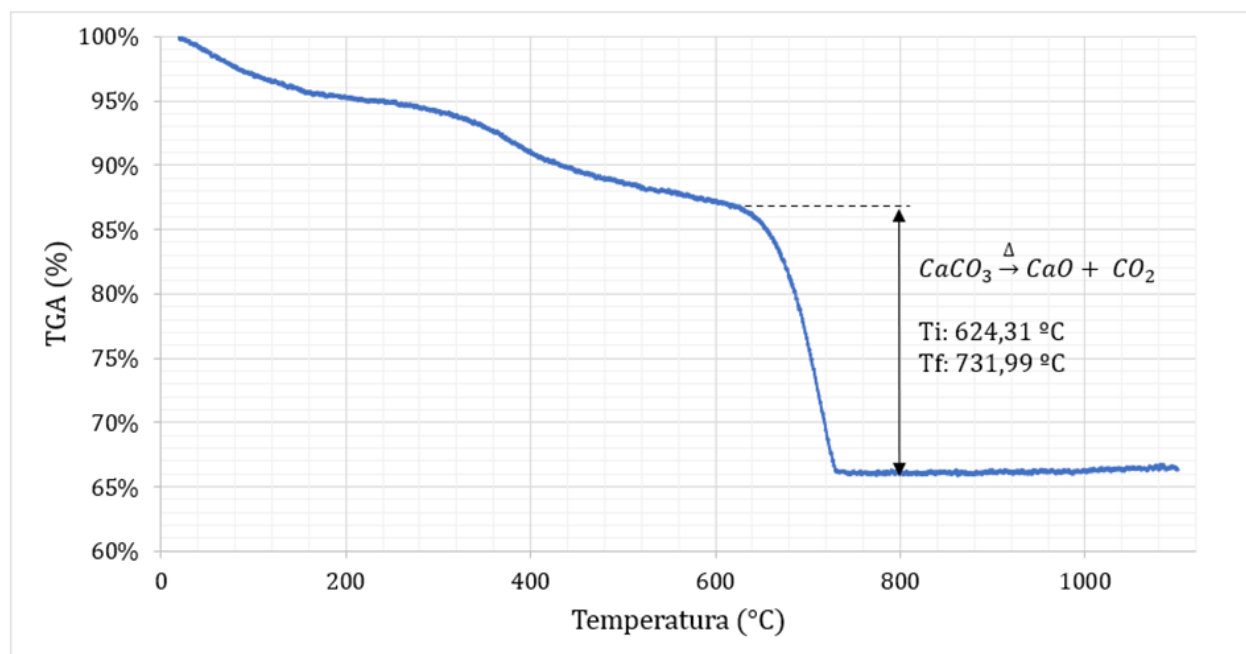


Figura 3 – Termogravimetria dos dregs antes do tratamento térmico.

Por meio da análise da perda de massa das cinco amostras calcinadas na mufla, conforme o planejamento fatorial definido, obteve-se a superfície de resposta ajustada, representada na Figura 4, com auxílio do software Statística®. O coeficiente de determinação estimado para o modelo ajustado foi de 0,97675.

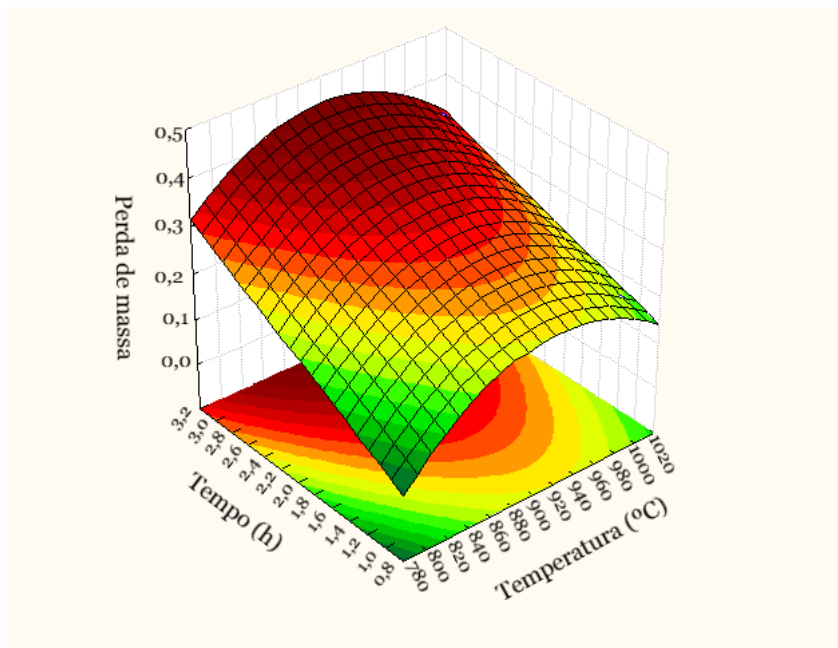


Figura 4 – Superfície de resposta para a calcinação dos dregs.

A partir da Equação 2, que representa o modelo estatístico ajustado retratado na superfície de resposta, calculou-se o tempo e a temperatura mínimos para que ocorra perda de massa da ordem de 34%, porcentagem verificada na análise termogravimétrica até a descarbonatação completa da calcita. Os valores obtidos foram de 915 °C para a variável temperatura e 2 h para o tempo. Dessa forma, essas foram consideradas as condições ideais para o tratamento térmico dos resíduos dregs para a produção de ligantes álcali-ativados.

$$P.M = -7,2896000000019 + 0,016297x - 0,00000893x^2 + 0,09415y \quad 2$$

onde:

PM = perda de massa

x = temperatura de calcinação (° C)

y = tempo de calcinação (h)

3.2 Caracterização dos dregs tratados termicamente

A amostra submetida ao tratamento térmico a 915 °C por 2 h, conforme estabelecido no item anterior, apresentou perda de massa de 33,65%, próxima ao previsto pelo modelo estatístico. A Figura 5 exhibe a comparação entre as análises termogravimétricas realizadas antes e depois da calcinação nas condições calculadas, por meio da qual percebe-se a ausência do estágio de descarbonatação da calcita após o tratamento térmico. Dessa forma, tem-se um indício da eficiência do procedimento quanto à eliminação do carbonato de cálcio.

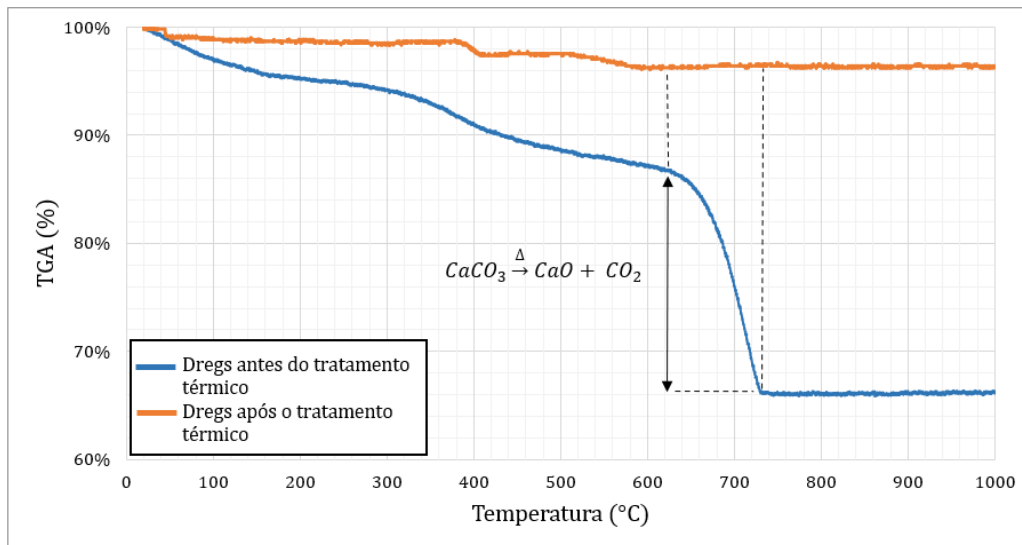


Figura 5 – Termogravimetria dos dregs antes e após do tratamento térmico.

A Tabela 2 apresenta a composição dos dregs calcinados, obtida por meio da Fluorescência de Raios-X. Em relação à perda ao fogo, observou-se uma redução de 85% nesse parâmetro, o que demonstra a eficácia do tratamento. Ademais, essa redução pode indicar um incremento na durabilidade dos ligantes álcali-ativados produzidos com os resíduos calcinados [10] [6].

Tabela 2 – Composição de óxidos dos dregs tratados.

| Óxido | Concentração (%) |
|--------------------------------|------------------|
| CaO | 39,36 |
| MgO | 18,88 |
| SiO ₂ | 15,48 |
| SO ₃ | 4,86 |
| Na ₂ O | 4,62 |
| Mn ₂ O ₃ | 3,92 |
| Al ₂ O ₃ | 3,39 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,87 |
| P ₂ O ₅ | 0,39 |
| K ₂ O | 0,32 |
| TiO ₂ | 0,18 |
| Outros | 0,97 |
| Perda ao fogo (%) | 5,76 |

O difratograma dos dregs calcinados (Figura 6) apresenta fases concordantes com os principais óxidos identificados na Fluorescência de Raios-X. Além disso, nota-se a presença de picos de óxido de cálcio e a ausência de picos de carbonato de cálcio, em decorrência do tratamento térmico. Em comparação aos resultados obtidos por Martins *et al.* [9] para a calcinação de resíduos dregs, observou-se a presença de CaO (Cal) e MgO (Periclásio), conforme apontado pelos autores. Entretanto, não foram identificados picos de Portlandita, o que pode ser explicado pela desidratação desse mineral em altas temperaturas. De maneira análoga, acredita-se que a Pirssonita, presente no difratograma dos dregs antes do tratamento (Figura 1) e ausente no após a calcinação (Figura 6), tenha passado por desidratação e decomposição.

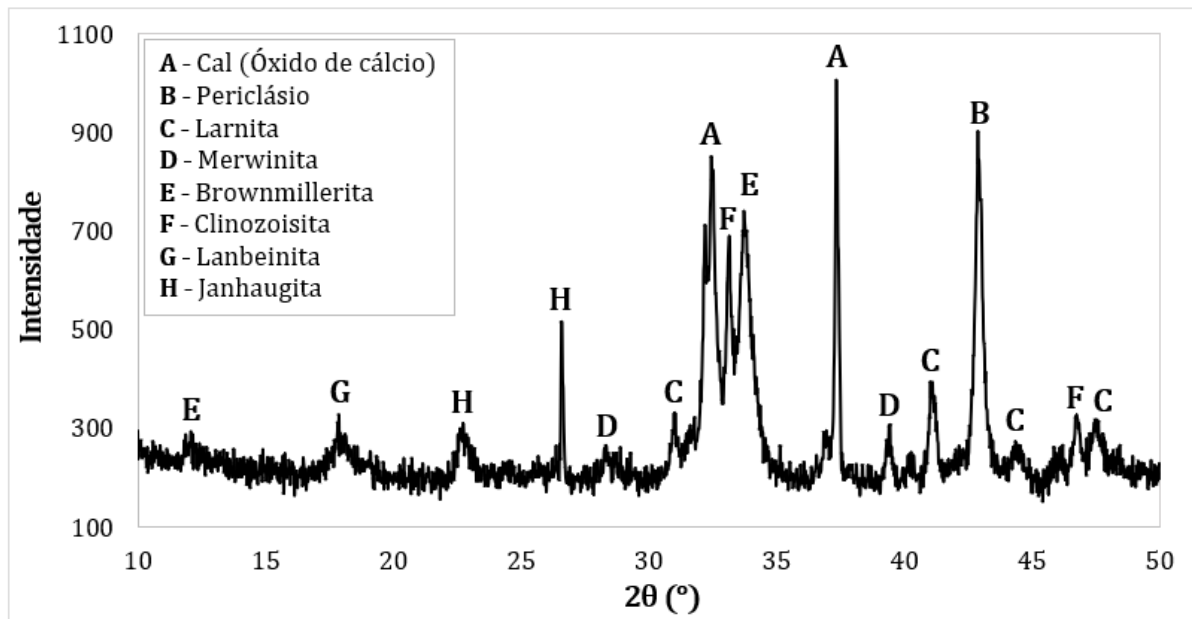


Figura 6 – Difratograma dos dregs após tratamento térmico.

Por fim, a Figura 7 e a Tabela 3 exibem os resultados do ensaio de granulometria a laser e sua comparação aos diâmetros obtidos por Oliveira [12] para os resíduos anteriormente à moagem, peneiramento e tratamento térmico. Os resultados evidenciam reduções entre 95,08 e 99,28% nos diâmetros característicos do material. Além disso, ressalta-se que a distribuição bimodal das partículas pode ser benéfica para o empacotamento durante a produção dos ligantes alcali-ativados [2]. A área superficial específica verificada no ensaio foi de 0,451 m²/g.

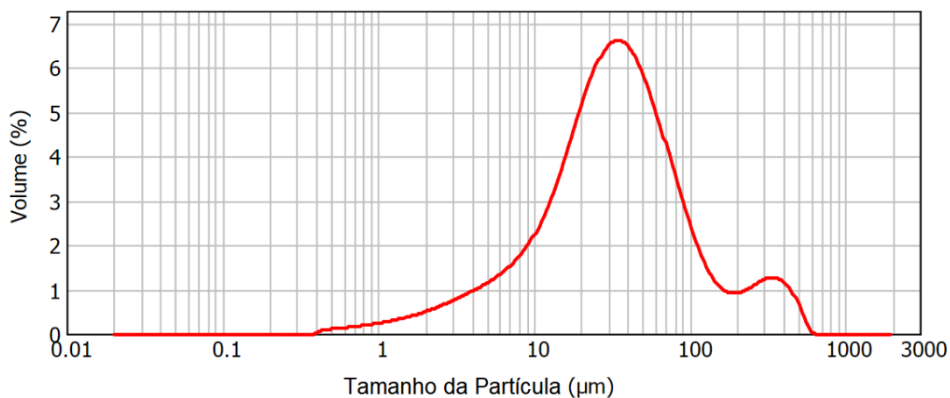


Figura 7 – Distribuição granulométrica dos dregs calcinados.

Tabela 3 – Comparação entre os diâmetros característicos antes e depois da moagem, peneiramento e calcinação.

| Diâmetro | Dregs recebidos [12] | Dregs após redução da granulometria e calcinação |
|----------|----------------------|--|
| D10 (µm) | 140 | 6,889 |
| D50 (µm) | 3.000 | 32,849 |
| D90 (µm) | 18.000 | 129,526 |

4. CONCLUSÃO

Por meio de experimento fatorial 2^k, foi possível obter superfície de resposta correspondente à variação da perda de massa de resíduos dregs em função do tempo e temperatura de calcinação. Dessa forma, considerando-se as informações provenientes de análise termogravimétrica, estabeleceu-se que o tratamento térmico a 915 °C por 2 h ocasiona a

descarbonatação da calcita presente em 100 g de dregs, com o mínimo gasto energético. A caracterização do material calcinado nas condições estabelecidas corrobora a eficiência do tratamento no que concerne à eliminação de CaCO_3 e obtenção de CaO .

Além dos benefícios que podem ser obtidos a partir da incorporação de óxido de cálcio em misturas álcali-ativadas, a diminuição da perda ao fogo dos dregs, em decorrência da calcinação, pode contribuir para a performance e durabilidade dos ligantes produzidos com esse resíduo. Por fim, acredita-se que, além da descarbonatação da calcita, o tratamento térmico acarreta outras reações nos resíduos, como a desidratação da Portlandita e a decomposição da Pirssonita.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos laboratórios LabSan-FECIV/UFU, LAMER-FEQUI/UFU, LAMIQ-IQ/UFU e Laboratório de Processos de Separação-FEQUI/UFU pelas análises e equipamentos e à empresa Suzano S.A. pela doação dos resíduos.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 18: **Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo**. Rio de Janeiro, 2012.
- [2] Christofoletti, S. R.; Moreno, M. M. T. (2017). **Granulometria por difração a laser e sua relação com a faciologia das rochas argilosas da Formação Corumbataí-SP**. *Cerâmica*, 63, 303-310.
- [3] EK, Monica; GELLERSTEDT, Göran; HENRIKSSON, Gunnar. **Pulping chemistry and technology**. Estocolmo: Walter de Gruyter, 2009.
- [4] Gamelli, E.; Camargo, N. H. A.; Brescansin, J. (2001). **Evaluation of paper industry wastes in construction material applications**. *Materials Research*, 4, 297-304.
- [5] Juenger, M. C. G.; Winnefeld, F.; Provis, J. L.; Ideker, J. H. (2011). **Advances in alternative cementitious binders**. *Cement and Concrete Research*, 41, 1232-1243.
- [6] Küçük, M. E.; Kinnarinen, T.; Timonen, J.; Mulari, O.; Häkkinen, A. (2021). **Characterisation of Industrial Side Streams and Their Application for the Production of Geopolymer Composites**. *Minerals*, 11, 593.
- [7] LOGAN, Andrew. **Explained: Cement vs. concrete – their differences, and opportunities for sustainability**. Disponível em: <<https://news.mit.edu/2020/explained-cement-vs-concrete-understanding-differences-and-sustainability-opportunities-0403>>. Acesso em: 29 de Abril de 2022.
- [8] Manskinen, K.; Nurmesniemi, H.; Pöykiö, R. (2011). **Total and extractable non-process elements in green liquor dregs from the chemical recovery circuit of a semi-chemical pulp mill**. *Chemical Engineering Journal*, 166, 954-961.
- [9] Martins, F. M.; Martins, J. M.; Ferracin, L. C.; Cunha, C. J. (2007). **Mineral phases of green liquor dregs, slaker grits, lime mud and wood ash of a Kraft pulp and paper mill**. *Journal of Hazardous Materials*, 147, 610-617.
- [10] Novais, R. M.; Carvalheiras, J.; Senff, L.; Labrincha, J. A. (2018). **Upcycling unexplored dregs and biomass fly ash from the paper and pulp industry in the production of eco-friendly geopolymer mortars: A preliminary assessment**. *Construction and Building Materials*, 184, 464-472.
- [11] Novais, R. M.; Carvalheiras, J.; Senff, L.; Seabra, M. P.; Pullar, R. C.; Labrincha, J. A. (2019). **In-depth investigation of the long-term strength and leaching behaviour of inorganic polymer mortars containing green liquor dregs**. *Journal of Cleaner Production*, 220, 630-641.
- [12] OLIVEIRA, Y. S. **Uso dos resíduos grits e dregs como adição mineral na produção de matrizes cimentícias**. Qualificação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, p. 62. 2021.

- [13] Provis, J. L.; Bernal, S. A. (2014). **Geopolymers and related alkali-activated materials**. Annual Review of Materials Research, 44, 299-327.
- [14] Provis, J. L.; Myers, R. J.; White, C. E.; Rose, V.; Van Deventer, J. S. (2012). **X-ray microtomography shows pore structure and tortuosity in alkali-activated binders**. Cement and Concrete Research, 42, 855-864.
- [15] Saeli, M.; Micale, R.; Seabra, M. P.; Labrincha, J. A.; La Scalia, G. (2020). **Selection of novel geopolymeric mortars for sustainable construction applications using fuzzy topsis approach**. Sustainability, 12, 5987.
- [16] Temuujin, J. V.; Van Riessen, A.; Williams, R. (2009). **Influence of calcium compounds on the mechanical properties of fly ash geopolymer pastes**. Journal of Hazardous Materials, 167, 82-88.
- [17] WILLIAMS, R. P. **Optimising Geopolymer Formation**. 2015. 275 f. Tese de Doutorado – Curtin University, Curtin, 2015.
- [18] Yip, C. K.; Van Deventer, J. S. J. (2003). **Microanalysis of calcium silicate hydrate gel formed within a geopolymeric binder**. Journal of Materials Science, 38, 3851-3860.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

INCORPORAÇÃO DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO EM ARGAMASSA PARA O ENCUNHAMENTO DE PAREDES

ROHDEN, Abrahão Bernardo¹; SALAMONI, Natália²; RODRIGUES, Gustavo Gutierrez de Oliveira²; THIVES, Felipe César Faedo²

¹ FURB, Blumenau, Brasil, abrcivil@gmail.com, n° do ORCID: 0000-0002-8652-5064

² FURB, Blumenau, Brasil

RESUMO

A geração de resíduos desencadeada principalmente pela industrialização, vem aumentando a preocupação do ser humano em relação ao meio ambiente. A areia descartada de fundição (ADF) é um resíduo proveniente dos moldes de fundição de metais em indústrias siderúrgicas, que acaba sendo descartada em aterros sanitários. Por outro lado, o setor da construção civil é um dos principais consumidores de recursos naturais, dentre eles a areia. Frente ao exposto, o presente trabalho busca analisar a capacidade de expansão de ADF incorporada em argamassa de encunhamento, através de ensaios de variação dimensional no estado fresco e resistência à compressão axial no estado endurecido. Para isso, foram moldados corpos de prova de argamassa com traço 1:3 e 1:6 (relação cimento e agregado miúdo), com dois tipos de cimento (CP II-F-32 e CP IV-32 RS) e 0, 25, 50, 75 e 100% de substituição de areia comumente utilizada por ADF, com e sem aditivo expansor, e corpos de prova de argamassa industrializada. A expansão foi observada nos traços com até 75% de ADF, com desempenho mecânico satisfatório. Entretanto, sugere-se o aprimoramento da metodologia utilizada para medição da variação dimensional, e realização de mais estudos das propriedades químicas e físicas dessa argamassa.

Palavras-chave: resíduo; encunhamento; vedação; expansão.

ABSTRACT

The generation of waste triggered mainly by industrialization, has been increasing the concern of human beings in relation to the environment. Waste foundry sand (WFS) is a residue from metal foundry molds in steel industries, which ends up being discarded in sanitary landfills. On the other hand, the civil construction sector is one of the main consumers of natural resources, including sand. In view of the above, the present work seeks to analyze the expansion capacity of WFS incorporated in shimming mortar, through tests of dimensional variation in the fresh state and axial compressive strength in the hardened state. For this, specimens of mortar with 1:3 and 1:6 (cement and fine aggregate ratio) mix proportion were molded, with two types of cement (CP II-F-32 and CP IV-32 RS) and 0, 25, 50, 75 and 100% replacement of sand commonly used by WFS, with and without expander additive, and specimens of industrialized mortar. Expansion was observed in traces of up to 75% WFS, with satisfactory mechanical performance. However, it is suggested to improve the methodology used to measure the dimensional variation, and further studies of the chemical and physical properties of this mortar.

Keywords: residue; shimming; sealing; expansion.

1. INTRODUÇÃO

A obtenção de processos mais limpos e sustentáveis vêm de encontro com a crescente preocupação do ser humano frente aos impactos negativos ao meio ambiente causados pelas atividades antrópicas. Diante disso, diversos métodos e alternativas vão se formulando por meio de estudos, e novas saídas são realizadas para destinação dos resíduos. Um desses resíduos é a areia descartada de fundição (ADF), que acaba sendo subaproveitada e destinada à aterros sanitários.

A areia de fundição nas indústrias siderúrgicas é utilizada como matéria-prima de molde para fundição de metais. Contudo após algumas reutilizações, essa areia vai perdendo suas propriedades físico mecânicas na qual não serve mais para tal prática e passa a ser descartada, resultando na ADF. Segundo a Associação Brasileira de Fundição – ABIFA [1], cerca de 2 milhões de toneladas de ADF são produzidas ao ano no Brasil.

A preocupação com tal problemática vem se disseminando, e é solucionada muitas vezes através da incrementação da ADF no cenário da construção civil. A NBR 15.702 [2], por exemplo, estabelece algumas diretrizes para a utilização da ADF como matéria-prima para o uso em concreto asfáltico e aterros sanitários. Além disso, pesquisas demonstram a sua aplicação em argamassas, blocos cerâmicos, artefatos de concreto, pavimentação, entre outros [3-5].

Entretanto, a reutilização na prática desse resíduo ainda é reduzida. Logo, a busca por alternativas de sua valorização têm se tornado mais frequentes.

O setor da construção civil tem se mostrado um forte consumidor de recursos naturais, dentre eles a areia. Perante essa questão, o emprego de ADF como agregado miúdo é manifestado, pois de acordo com Sandhu e Siddique [6], este subproduto industrial apresenta alto teor de sílica e propriedades semelhantes à areia natural, comumente utilizada.

Com relação a essa perspectiva, o presente trabalho tem o intuito de valorizar a ADF como substituição ao agregado miúdo em argamassa de encunhamento, analisando sua capacidade de expansão no estado fresco.

1.1 Argamassa de encunhamento

Segundo Fiorito [7], a argamassa é considerada como uma mistura homogênea cuja junção se faz através de água, aglomerantes e agregados miúdos, podendo a mistura conter ou não a presença de aditivos. De acordo com sua necessidade, as argamassas podem apresentar propriedades distintas, entre elas a trabalhabilidade, retenção de água, aderência, resistência, durabilidade e resiliência [8].

Segundo Santos Júnior [9], o encunhamento é responsável pela ligação entre a estrutura (viga ou laje) e parte superior da alvenaria, não comprometendo sua estabilidade nem seu desempenho. Diante desse conceito se faz imprescindível a percepção dos carregamentos sobre a argamassa voltada para o encunhamento, pois caso não tenham cuidados a mesma pode acabar sofrendo por deformações provenientes da estrutura sendo capaz de gerar fissuras em toda a parede.

A argamassa de encunhamento é aplicada em um vão de 2 a 3 cm entre a estrutura e a parede de alvenaria. Essa argamassa de assentamento é misturada com alumina ou aditivos de retração compensada, com objetivo de expansão ou apenas não retração, para que não ocorra o seu desprendimento das superfícies em que está ligada [9].

1.2 ADF

A fundição é uma prática desenvolvida cujo propósito é a fabricação de peças metálicas, formadas por meio do metal fundido disposto em moldes que dão o formato desejado à peça. Esse molde pode ser metálico ou de areia [10].

O molde de areia é o meio mais utilizado para fundição visto que pode ser aplicada utilizando diferentes metodologias, que variam conforme a necessidade do fundidor, como acabamento, resistência, tipo de metal a ser fundido, peças de grandes superfícies ou grandes espessuras. A escolha do molde e características da peça de metal viabilizam ou não cada mecanismo, o que acaba por intervir nos materiais que compõe os moldes [11].

As matérias-primas geralmente empregadas são a areia (sílica), ligantes (argila, resinas e silicato de sódio), cujo propósito é dar coesão a mistura e produtos de adição (carvão mineral, óxido de ferro e serragem), do qual proporciona melhor acabamento na superfície da peça, além de evitar a “vitrificação” da areia [11].

De modo geral, a ADF é classificada como um resíduo não perigoso pela NBR 10004 [12]. Por consequência disso, ela pode ser reutilizada e empregada em outros materiais. Porém, é necessário analisar seus extratos lixiviados e solubilizados (quando necessário), para confirmação da classificação.

A Lei estadual nº 17479 [13], aponta alguns requisitos que a ADF deve seguir para poder ser aproveitada em alguns materiais da construção civil, entre eles a caracterização e classificação segundo a norma NBR 10004 [12]; caracterização do processo industrial; segregação adequada do resíduo; plano de gerenciamento de resíduos; e teste de ecotoxicidade da ADF.

São vários os estudos sobre aplicação da ADF em produtos da construção civil.

Em seus estudos, Fornari *et al.* [4], buscaram aplicar a ADF como matéria-prima da base e sub-base de um pavimento, avaliando seus limites de consistência, granulometria, compactação e Índice Califórnia, através de um solo referência, outro com substituição de 25% pela ADF e o último com 50%. Além disso foi incorporado a cal hidratada como agente estabilizador. Os resultados mostraram que o solo puro obteve uma classificação entre sofrível à mal, enquanto os com 25% e 50% com ADF desempenharam como excelente à bom. Quanto a não utilização da cal hidratada permitiu-se a utilização como subleito. Já, com a sua adição, pode ser executado tanto como base quanto sub-base, sendo a capacidade de resistência de até 60% para 25% de ADF e 75% para 50% de ADF.

Em outro estudo, Casali *et al.* [5], estudaram a aplicação da ADF em argamassas mistas (cimento e cal) de revestimento. Realizaram ensaios de granulometria e caracterização do resíduo segundo a NBR 10004 [12]. Em seguida, para ensaio de resistência à compressão axial, aos 28 dias, avaliaram traços com proporção de 1:1:6 (cimento, cal e areia) e água, com trabalhabilidade de $(25,5 \pm 1)$ cm, e substituição de 0, 10, 30 e 100% do agregado miúdo por ADF. Os resultados obtidos

determinaram que o material não foi classificado como perigoso. Em relação as argamassas, observaram que quanto maior a quantidade de ADF era maior a quantidade de água à mistura e menor sua resistência à compressão, resultando na redução aproximada de 57% da resistência com uso total da ADF (100%), quando comparado com o traço referência, sem ADF. Já, os traços de 10 e 30% de substituição apresentaram resistência satisfatória, dessa forma, sugerindo a utilização de até 30% de ADF em substituição a areia comum nessas argamassas.

Dessa forma, o presente trabalho visa analisar a incorporação da ADF em argamassa de encunhamento, através de ensaios de variação dimensional no estado fresco e resistência à compressão axial no estado endurecido.

2. METODOLOGIA

Para a análise da incorporação da ADF em argamassa, foram realizadas misturas de argamassas com dois traços (proporção cimento e agregado miúdo), dois tipos de cimento e cinco teores de substituição da areia comumente utilizada pela ADF, com relação água/cimento (a/c) fixa em 0,50, além de misturas referência com aditivo expensor e argamassa industrializada, totalizando 15 tratamentos. Todas as amostras foram ensaiadas quanto a variação dimensional no estado fresco e resistência à compressão axial aos 28 dias (Figura 1).

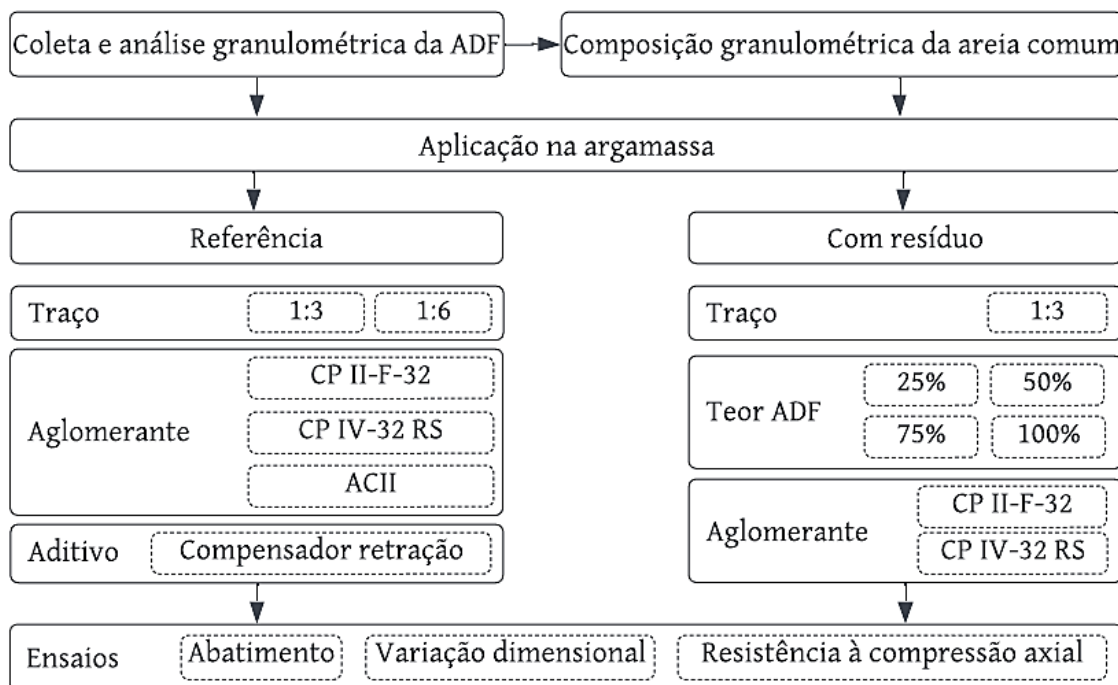


Figura 1 – Fluxograma do estudo.

2.1 Materiais

As argamassas foram constituídas por cimento Portland CP II-F-32, CP IV-32 RS ou argamassa cimentícia ACII, água, aditivo compensador de retração (“expansor”) e superplastificante, e dois agregados, areia comumente empregada em argamassas e ADF, com massa específica de 2,63 g/cm³ e 1,90 g/cm³, e módulo de finura de 2,17 e 1,28, respectivamente. O resíduo valorizado no presente estudo é oriundo do material utilizado nos moldes de areia de uma indústria de fundição composto por areia (sílica), resina fenólica uretânica e cromita.

A ADF demonstrou ter uma grande concentração de grãos de menores dimensões, com cerca de 90% do material retido nas peneiras de malha 0,3 e 0,15 mm (Figura 2). Já, a areia comum obteve uma distribuição granulométrica mais contínua, com cerca de 30% de partículas maiores que 0,6 mm (Figura 3). Devido a essa disparidade granulometria, visando maior similaridade entre as granulometrias dos agregados, optou-se por modificar a granulometria da areia comum, utilizando apenas o material passante na peneira de malha 0,6 mm (Figura 4).

Figura 2 – Granulometria inicial da ADF.

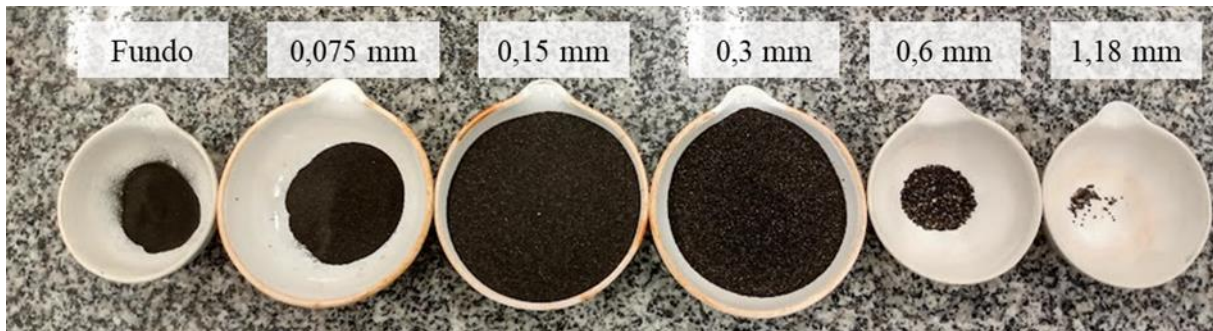


Figura 3 – Granulometria inicial da areia comum.

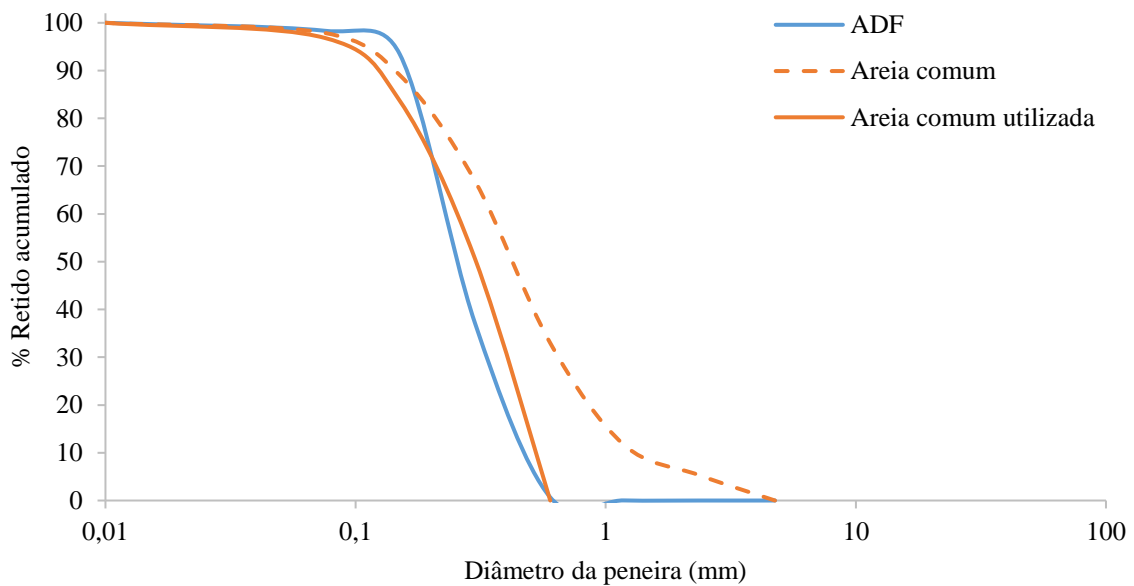
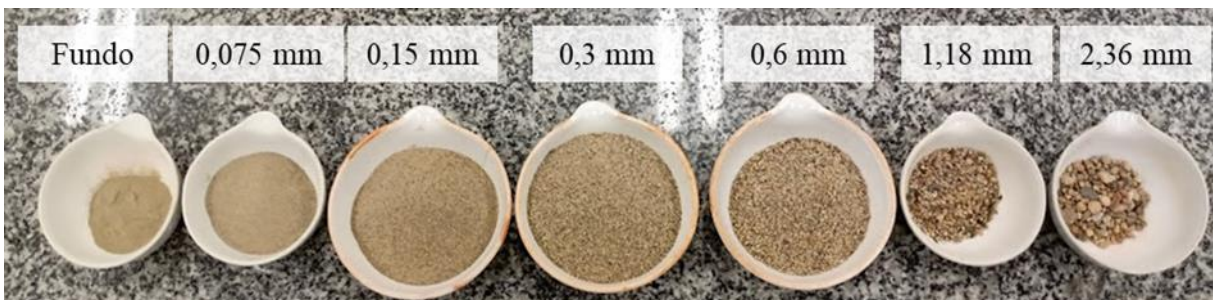


Figura 4 – Curva granulométrica dos agregados.

O fabricante do aditivo expansor recomenda a utilização de 1% do aditivo sobre a massa de cimento, com relação cimento areia de 1:6. Dessa forma, foram moldados traços referência com relações de 1:3 e 1:6, com o aditivo e os dois tipos de cimentos.

2.1 Método

Após a mistura dos materiais, conforme NBR 7215 [14], foram realizados os ensaios no estado fresco (índice de consistência e variação dimensional) e endurecido (resistência à compressão axial aos 28 dias). A dosagem dos materiais é apresentada na tabela 1.

Tabela 1 – Dosagem das argamassas.

| Argamassas | Materiais (g) | | | | | | |
|-----------------|---------------|-------------|------|-------------|------|------|------------------|
| | CP II-F-32 | CP IV-32 RS | ACII | Areia comum | ADF | Água | Aditivo expensor |
| 1:3.CP II.100% | 624 | 624 | - | - | 1872 | 312 | - |
| 1:3.CP IV.100% | 624 | 624 | - | - | 1872 | 312 | - |
| 1:3.CP II.75% | 624 | 624 | - | 468 | 1404 | 312 | - |
| 1:3.CP IV.75% | 624 | 624 | - | 468 | 1404 | 312 | - |
| 1:3.CP II.50% | 624 | 624 | - | 936 | 936 | 312 | - |
| 1:3.CP IV.50% | 624 | 624 | - | 936 | 936 | 312 | - |
| 1:3.CP II.25% | 624 | 624 | - | 1404 | 468 | 312 | - |
| 1:3.CP IV.25% | 624 | 624 | - | 1404 | 468 | 312 | - |
| 1:3.CP II.0% | 624 | 624 | - | 1872 | - | 312 | - |
| 1:3.CP IV.0% | 624 | 624 | - | 1872 | - | 312 | - |
| 1:3.CP II.0%.AE | 624 | 624 | - | 1872 | - | 312 | 6,24 |
| 1:3.CP IV.0%.AE | 624 | 624 | - | 1872 | - | 312 | 6,24 |
| 1:6.CP II.0%.AE | 624 | 624 | - | 3744 | - | 382 | 6,24 |
| 1:6.CP IV.0%.AE | 624 | 624 | - | 3744 | - | 382 | 6,24 |
| ACII.0% | - | - | 1319 | - | - | 165 | - |

Para melhor compreensão, foi proposta uma sigla para cada uma das 15 argamassa, sendo obtida a partir de suas características, como traço, tipo de cimento e teor de ADF. Por exemplo, a sigla ‘1:3.CP II.0%.AE’ corresponde ao traço com relação cimento agregado 1:3, cimento CP II-F-32, 0% de ADF e com emprego de aditivo expensor.

O ensaio de consistência (*flow table*) foi realizado conforme NBR 13276 [15]. Com a relação a/c fixa de 0,50 para os traços 1:3, foi utilizado aditivo superplastificante a fim de manter o índice de consistência na faixa de (16 ± 4) mm. Já, para o traço 1:6, além do aditivo superplastificante, foi necessário adicionar maior quantidade de água na mistura.

Após a verificação do índice de consistência para análise da trabalhabilidade das argamassas, foram moldados corpos de prova cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, seguindo a metodologia proposta pela NBR 7215 [14].

Para a coleta das medidas do ensaio de variação dimensional, foi montado um aparato com uma base metálica, base magnética, garra e trena à laser (Figura 5), visando reduzir possíveis interferências geradas entre operador e amostras.



Figura 5 – Equipamento para medição da variação dimensional.
 Legenda: base metálica (1), base magnética (2), garra (3) e trena à laser (4).

Como a área superficial das amostras não era totalmente plana, nem a expansão e/ou retração ocorriam de forma constante em toda a superfície, elaborou-se um molde de papel com seis furos, onde eram feitas as medidas, para posterior análise de sua média (Figura 6).

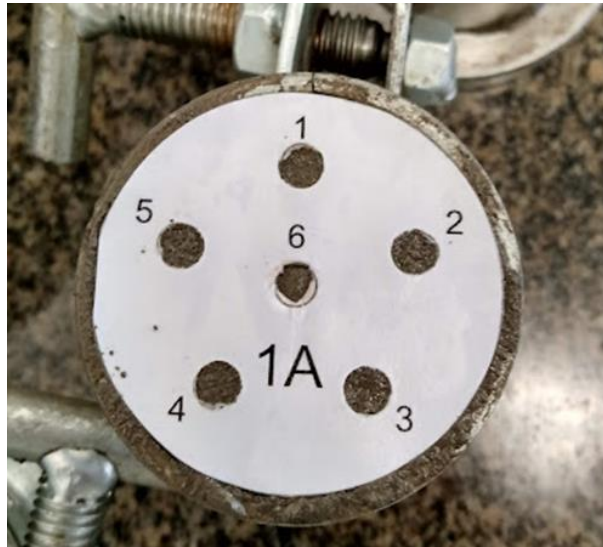


Figura 6 – Molde para medição da variação dimensional.

As medições foram iniciadas a partir do momento do término do enchimento do corpo de prova e posicionamento do molde ($t=0$ min) e eram retomadas a cada 15 minutos até atingir um tempo de 3 horas ($t=180$ min), no qual a diferença entre o tempo de início e fim resultariam na expansão ou retração da mistura.

Os corpos de prova foram desmoldados após 24 h da moldagem, e postos em tanque saturado com cal para cura submersa até ensaio de resistência à compressão axial, de acordo com NBR 7215 [14].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

i. Índice de consistência

Conforme observado nos resultados expressos na Tabela 2, a consistência apontou melhor trabalhabilidade nos traços com maior teor de ADF.

Tabela 2 – Índice de consistência (IC) das argamassas.

| Argamassas | IC (cm) | Relação a/c | Aditivo superplastificante (g) |
|-----------------|---------|-------------|--------------------------------|
| 1:3.CP II.100% | 19,67 | 0,50 | - |
| 1:3.CP IV.100% | 19,55 | 0,50 | - |
| 1:3.CP II.75% | 16,72 | 0,50 | - |
| 1:3.CP IV.75% | 15,56 | 0,50 | - |
| 1:3.CP II.50% | 13,94 | 0,50 | - |
| 1:3.CP IV.50% | 13,76 | 0,50 | - |
| 1:3.CP II.25% | 13,08 | 0,50 | - |
| 1:3.CP IV.25% | 12,86 | 0,50 | - |
| 1:3.CP II.0% | 13,06 | 0,50 | 7,36 |
| 1:3.CP IV.0% | 15,60 | 0,50 | 7,36 |
| 1:3.CP II.0%.AE | 15,11 | 0,50 | 7,36 |
| 1:3.CP IV.0%.AE | 15,63 | 0,50 | 7,36 |
| 1:6.CP II.0%.AE | 14,33 | 1,11 | 7,20 |
| 1:6.CP IV.0%.AE | 14,86 | 1,11 | 7,20 |
| ACII.0% | 13,44 | - | 2,04 |

Contudo, na proporção em que se diminuía a ADF e aumentava a areia comum, percebeu-se que a mistura se tornava mais seca até chegar ao ponto de inviabilizar o processo, sendo necessário a utilização de superplastificante e/ou mais

água na mistura. Com isso, percebe-se que a areia comum deveria apresentar maior porosidade e/ou teor de material pulverulento, absorvendo maiores quantidades de água que a ADF.

Outra percepção foi que o uso de cimentos diferentes concedeu uma diferença mínima de trabalhabilidade que se agrava nos traços com mais areia comum. O CP II-F-32 foi mais eficiente nesse quesito, apresentando maiores resultados de índice de consistência.

ii. Variação dimensional

Referente aos resultados de variação dimensional (Figura 7), apenas os traços com 1:3.CP II.100%, 1:3.CP IV.100% e 1:3.CP IV.75% apresentaram expansão. Já, o traço ACII.0% não apresentou variação dimensional, enquanto os demais retraíram.

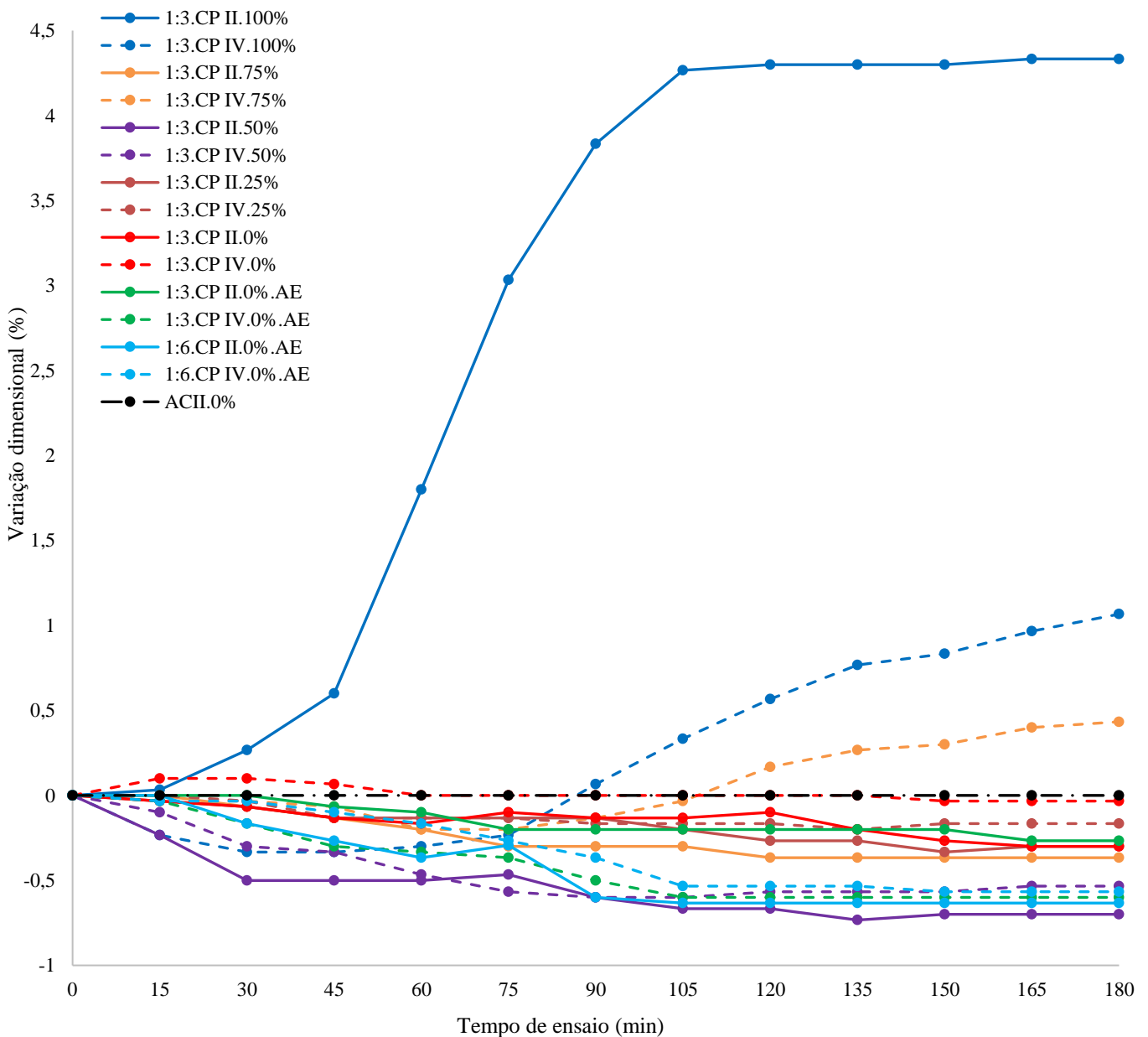


Figura 7 – Variação dimensional.

A alteração da relação de cimento e areia e do tipo de cimento não podem afirmar que desempenham resultados de variação dimensional maior ou menor, pois hora o CP II-F-32 desencadeou índices de expansão maiores, hora o CP IV-32 RS foi mais efetivo.

Ressalta-se ainda que as argamassas sem ADF apresentaram retração, mesmo aquelas com aditivo expansor dosado de acordo com recomendação do fabricante.

Com isso, percebe-se que a incorporação de ADF em argamassas pode auxiliar na expansão da mistura, quando seu teor de substituição pela areia comumente utilizada for superior a 75%.

Em relação à análise temporal da variação dimensional, percebe-se uma maior variação após 45 min do início do ensaio, até cerca de 120 min, quando a variação tende a estabilizar-se. Ainda, foi possível notar que em 90 minutos a expansão teve seu período máximo de variação.

iii. Resistência à compressão axial

Analisando quanto a influência da ADF na resistência à compressão axial aos 28 dias das argamassas (Figura 8), notou-se que o cimento CP II-32-F obteve maiores resultados. Ainda, as misturas sem a substituição da areia comum pela ADF apresentaram melhores resistências que aquelas com o resíduo, com melhor desempenho do CP IV-32 RS.

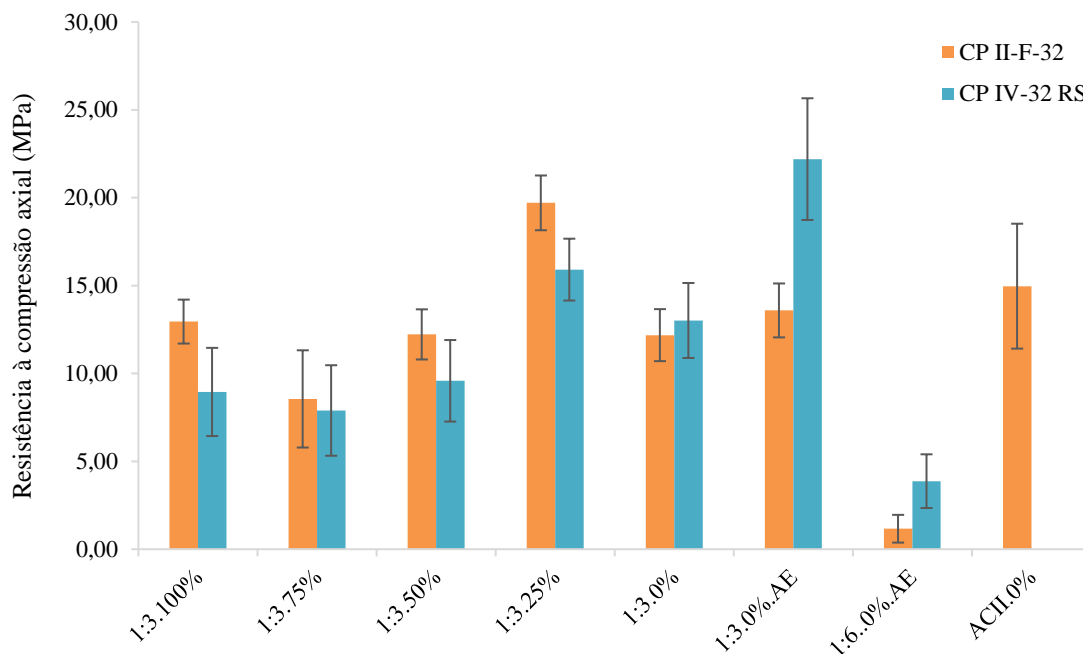


Figura 8 – Resistência à compressão axial.

Quanto a relação de cimento e agregado miúdo, ficou evidente a diferença entre as resistências obtidas dos traços 1:3 e 1:6. A maior proporção de agregado na mistura apresentou menores resistências à compressão, resultado já esperado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente estudo, pode-se verificar que argamassa com incorporação de ADF possui propriedades expansivas, porém, não apresenta expansão a partir de teores menores que 50%. Como os resultados de variação dimensional das argamassas referência, sem emprego da ADF, não apresentaram expansão, não se pode afirmar que as argamassas estudadas são adequadas ao encunhamento.

Quanto a capacidade de variação dimensional das argamassas, observou-se que o tempo médio de início de reação era em torno de 45 minutos e término de 120 minutos.

Ainda retratando o aspecto da variação dimensional, notou-se que a metodologia de medição adotada ainda não é ideal, pois mesmo evitando o contato com os corpos de prova e tomando o máximo de cuidado para medir o mesmo ponto, muitas vezes se obtinham resultados imprecisos devido a precisão da trena.

No âmbito da propriedade mecânica dos traços, pode-se verificar que a ADF não comprometeu a resistência à compressão axial aos 28 dias. Portanto, pode ser aplicado como material incorporado em argamassa, desde que não infrinja as regras impostas pela NBR 10004 [12].

Em relação a continuidade de estudos neste mesmo seguimento, sugere-se melhoria da metodologia de variação dimensional, visando uma medição com maior precisão. Ainda, ressalta-se a importância de estudos mais aprofundados acerca da influência dos materiais na variação dimensional da argamassa.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – ABIFA. **Desempenho do setor de fundição - dezembro/2020**. Núcleo de Estudos de Mercado, São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.abifa.org.br/indices-setoriais/>>. Acesso em: 15 de Maio de 2022.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15702: **Areia descartada de fundição - Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário**. Rio de Janeiro, 2009.
- [3] BIOLO, S. M. **Reúso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- [4] FORNARI, G. C. B.; KLINSKY, L. M. G.; FERNANDES JR., J. L.; BARDINI, V. S. S. **Reuso de areia de fundição residual para finalidades rodoviárias**. XXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte, Recife, 2017.
- [5] Casali, J. M.; Miguel, T. F.; Felizardo, C. C.; Meira, N. S.; Domingui, L.; Betioli, A. M. (2018). **Caracterização e influência do teor do resíduo de areia de fundição fenólica em argamassas de revestimento**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 261-279.
- [6] Sandhu, R. K.; Siddique, R. (2019). **Strength properties and microstructural analysis of self-compacting concrete incorporating waste foundry sand**. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 225, p. 371-383.
- [7] FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassa e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. 2 ed. São Paulo: Pini, 2010.
- [8] SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Estudo Técnico: ET-91. 2 ed. São Paulo: ABCP, 1998.
- [9] SANTOS JÚNIOR, L. V. D. **Projeto e Execução de Alvenarias: Fiscalização e Critérios de Aceitação**. 1 ed. São Paulo: Pini, 2014.
- [10] KONDIC, Voya. **Princípios Metalúrgicos de Fundição**. Tradução: Claudio Luiz Mariotto; Jorge Augusto Gouvêa; Renato Papaleo; Rubens Habesh. São Paulo: Polígono, 1973.
- [11] BALDAM, R. L.; VIEIRA, E. A. **Fundição: processos e tecnologias correlatas**. São Paulo: Erica, 2014.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- [13] SANTA CATARINA, **Lei Estadual nº 17.479, de 15 de janeiro de 2018**. Dispõe sobre a utilização das Areias Descartadas de Fundição (ADF). Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2018.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2019.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.

ÁREA TEMÁTICA: MATERIAIS E COMPONENTES

METODOLOGIA PARA SUBSTITUIÇÃO DOS AGREGADOS NATURAIS PELO AGREGADO RECICLADO DE RCC PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

BERNARDES, Victor Silva Lemos¹; OLIVEIRA, Jéssica Soares²; REGO, João Henrique da Silva³; PEREIRA, Cláudio Henrique de Almeida Feitosa⁴

¹ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, bernardesvictor0@gmail.com

² Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, jessicasoaresoliveira@gmail.com

³ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, jhenriquerego@unb.br, 0000-0001-9060-2010

⁴ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, claudiochp@gmail.com, 0000-0003-2170-0068

RESUMO

O setor da construção civil gera resíduos em praticamente todo o desenvolvimento de suas atividades, no entanto, é a única indústria com capacidade para absorver-lo ao longo da sua cadeia, o que explica a importância da aplicação do aproveitamento do resíduo da construção civil (RCC). O objetivo deste estudo, realizado no Distrito Federal, é obter curvas granulométricas adequadas à produção de blocos de concreto sem função estrutural a partir da substituição em massa de teores progressivos de agregados de RCC. Para tal foram realizadas análises das composições granulométricas de dois traços empregados em uma indústria local de artefatos de concreto, e posteriormente simulações de substituições em massa de teores do agregado empregado no traço dos blocos por agregados reciclado de RCC. Para realizar tais combinações, foram testados teores de 25%, 50%, 75% e 100% comparados ao traço de referência. Por meio da análise granulométrica, foi possível constatar que o módulo de finura reduziu a medida em que se aumentou os teores de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado de RCC em todos os casos avaliados. Além disso, conclui-se que a metodologia de substituição em massa dos agregados naturais pelos reciclados é uma metodologia viável, e pode contribuir para a implementação mais efetiva deste material no mercado.

Palavras-chave: agregados reciclados; RCC, bloco de concreto; composição.

ABSTRACT

The civil construction sector generates waste in practically all the development of its activities, however, it is the only industry with the capacity to absorb it along its chain, so that explain the importance of applying the use of civil construction waste (CCW). The objective of this study, carried out in Federal District, is to obtain granulometric curves suitable for the production of concrete blocks without structural function from the mass replacement of progressive levels of RCC aggregates. For this, analyzes of the granulometric compositions of two traces used in a local concrete artifacts industry were carried out, and later simulations of mass substitutions of aggregate contents used in the trace of blocks by recycled CCW aggregates were carried out. To make such combinations, 25%, 50%, 75% and 100% contents were tested compared to the reference trace. Through the granulometric analysis, it was possible to verify that the fineness modulus reduced as the levels of substitution of the natural aggregate by the recycled aggregate of CCW increased in all cases evaluated. In addition, it is concluded that the methodology of mass replacement of natural aggregates by recycled ones is a viable methodology, and can contribute to the more effective implementation of this material in the market.

Keywords: recycled aggregates; CCW, concrete block; composition.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil produz quantidades significativas de resíduos da construção civil (RCC) todos os anos. Segundo o relatório da ABRELPE de 2019, estima-se que em 2018 foram coletadas cerca de 45 milhões de toneladas de RCC pelos municípios brasileiros. Os efeitos disso são falta de espaços nos aterros urbanos, e ainda sua deposição irregular tende a gerar impactos ambientais e sanitários significativos. A substituição de agregados naturais e viabilização na aplicação de forma mais eficiente para o agregado reciclado é um importante caminho que a construção civil do ponto de vista sustentável, pois contribui na proteção de riscos econômicos, preservação do meio ambiente e economia de recursos [1].

Há diversos estudos que abordam a substituição do agregado natural por agregado reciclado na produção de blocos de concreto, principalmente para finalidades não estruturais, segundo [2], a utilização de agregados reciclados com este fim gera menor impacto ambiental ao longo do ciclo de vida deste produto, satisfazendo os requisitos normativos quanto as propriedades mecânicas e de durabilidade. Resultados obtidos como o de [3], em que o bloco produzido com substituição de 50% de agregados naturais atingiu a resistência correspondente à Classe B, atendendo a as especificações da [4], além disso, os estudos de Corrêa [5] corroboram para os resultados anteriormente apresentados. No entanto, isto depende da qualidade do agregado, desta forma, é importante que se avalie e caracterize este insumo.

As propriedades do agregado reciclado são, normalmente, diferentes das do agregado natural. Se comparados, os agregados de RCC são mais absorventes, menos densos, têm forma irregular e textura rugosa, além de apresentarem mais susceptibilidade à contaminação, devido à presença da pasta de cimento [6].

O conteúdo de argamassa influencia diretamente nas propriedades do agregado de RCC. A argamassa aderida pode estar nos agregados reciclados sob a forma de blocos incrustados com agregados naturais menores, na superfície do agregado natural ou aglutinando duas ou mais partículas de agregado. O resultado deste fator é que a superfície do agregado de RCC se torna mais áspera e porosa quando comparada à do agregado natural [2].

Para a caracterização dos agregados reciclados podem ser utilizados alguns métodos, tais como a análise granulométrica, análise química, análise mineralógica, análise termogravimétrica, separação por densidade empregando líquidos densos e determinação da massa específica aparente e da absorção de água dos agregados [7].

O principal ensaio utilizado para caracterização de materiais granulares é o da granulometria, por ser possível obter duas constantes, o módulo de finura (MF) e a dimensão máxima característica (DMC), fundamentais para a definição da distribuição e tamanho dos grãos dos agregados [8]. Além disso, este ensaio permite o desenvolvimento da curva granulométrica, possibilitando a conferência visual de uma faixa granulométrica recomendada para uma aplicação específica [9].

Além disso, a classificação dos agregados quanto à forma e dimensão contribuem para um bom arranjo do concreto, tendo assim, distribuição granulométrica constante, e conseqüentemente, menor consumo de cimento para a mesma trabalhabilidade e menor índice de vazios [10].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida em três etapas: coleta de dados de caracterização dos agregados; análise granulométricas dos traços referência; análise da composição dos agregados e determinação de teores de substituição para blocos com agregados de RCC, conforme demonstra a Figura 1.

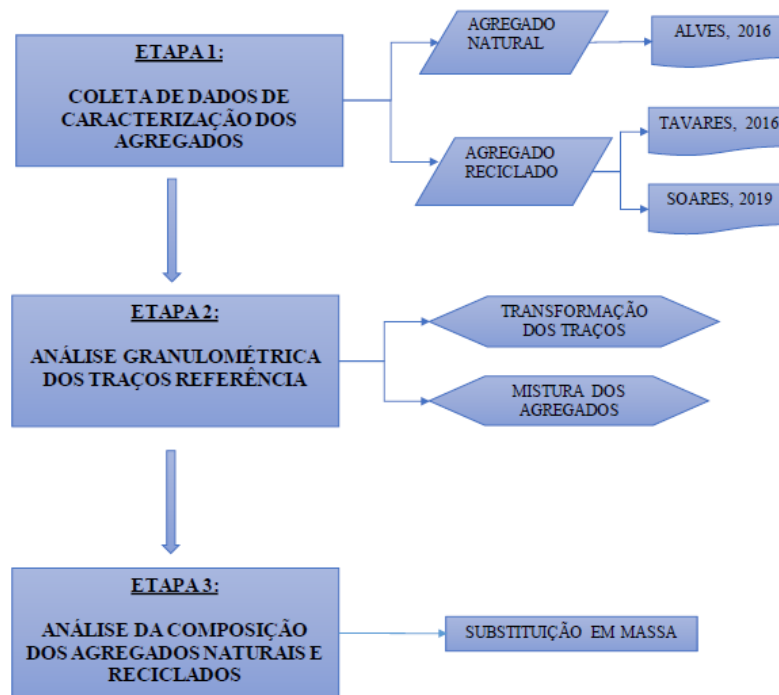


Figura 1 - Etapas metodológicas desenvolvidas

A coleta de dados foi realizada através de estudos anteriores, os dados referentes a agregados naturais foram coletados da pesquisa de [11]. Em seu estudo, o autor utilizou os agregados naturais e naturais britados do pátio de estocagem de uma fábrica de artefatos situada no Distrito Federal e sua caracterização foi desenvolvida no Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília (LEM-UnB). A empresa forneceu dois traços utilizados para a fabricação dos blocos classe C, estes são os traços adotados como referência neste presente estudo.

Já para os agregados reciclados, os dados são de duas pesquisas realizadas, também no mesmo laboratório, sendo estas, a de [12] e [13]. Neste caso, os agregados reciclados são provenientes de uma usina de beneficiamento de resíduos da construção civil pertencente ao Distrito Federal. Para determinação da massa específica, tanto para agregados naturais como reciclados, foram utilizados os procedimentos propostos pela norma [14], para massa unitária [15] e a composição granulométrica segundo a [16]. A Tabela 1 apresenta as determinações aplicadas e os métodos de ensaios realizados.

Tabela 1 – Metodologia para caracterização física dos agregados.

| Determinações | Método de Ensaio |
|---------------------------------------|------------------|
| Composição granulométrica | NM 248:2003 |
| Dimensão máxima característica (mm) | NM 248:2003 |
| Módulo de finura (%) | NM 248:2003 |
| Massa específica (g/cm ³) | NBR 9776:1988 |
| Massa unitária (kg/dm ³) | NM 45:2006 |

Para a análise granulométrica, necessitou-se inicialmente o estudo da densidade no estado solto ou massa unitária desse material, pois os dois traços referências estavam em volume. Feito isso, obteve-se estudo da curva granulométrica da mistura dos agregados através da curva de cada um desses agregados que se multiplica ao percentual de cada material por sua contribuição percentual na formulação do traço. Ou seja, foi feita a multiplicação de cada ordenada (y_i) pela percentagem com que o agregado entra na mistura (p_i) e somou-se as ordenadas correspondentes a mesma abcissa.

$$Y_m = \sum_{i=0}^n p_i y_i, \text{ com } \sum_{i=0}^n p_i = 100\% \quad (1)$$

Por fim, a última etapa da metodologia foi o estudo de como a substituição dos agregados naturais e naturais britados por agregados reciclados influencia na composição granulométrica dos traços utilizados como referência. Desta forma, utilizou-se a metodologia proposta por [12], adaptando-a para esta situação em específica, a de bloco de concreto. As faixas granulométricas adotadas foram as propostas por [10]. Houve a substituição gradual dos agregados reciclados miúdos em seis amostras, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Nomenclaturas adotadas na metodologia.

| Nomenclatura adotada | Denominação | Fonte |
|----------------------|----------------------------|--------------------|
| T1 | Traço 1 – referência | Alves, 2016 [11] |
| T2 | Traço 2 – referência | Alves, 2016 [11] |
| AR1 | Agregado miúdo reciclado 1 | Tavares, 2016 [12] |
| AR2 | Agregado miúdo reciclado 2 | Soares, 2019 [13] |
| AR3 | Agregado miúdo reciclado 3 | Soares, 2019 [13] |
| AR4 | Agregado miúdo reciclado 4 | Soares, 2019 [13] |
| AR5 | Agregado miúdo reciclado 5 | Soares, 2019 [13] |
| AR6 | Agregado miúdo reciclado 6 | Soares, 2019 [13] |

Todas percentagens retidas das seis amostras de agregados anteriormente citadas foram combinadas com os dois traços referência (T1) e (T2), obtendo-se assim as combinações granulométricas em percentagem, representada também pela massa. Essa substituição foi feita com acréscimo de 1% subsequentes com auxílio o software Microsoft Excel 2016, no entanto, para a análise dos resultados, foram considerados apenas cinco percentuais de substituição (0%, 25%, 50%, 75% e 100%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 AVALIAÇÃO DAS CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS

Inicialmente, obteve-se as curvas de distribuições granulométricas média dos agregados miúdos e graúdos utilizados na formulação dos traços 1 (T1) e traço 2 (T2), observa-se que os três agregados miúdos possuem trechos que estão fora das faixas granulométricas recomendadas para blocos por [10], no entanto, isto possui razoabilidade, já que será necessária uma composição dessas areias para a formulação dos traços (Figura 2).

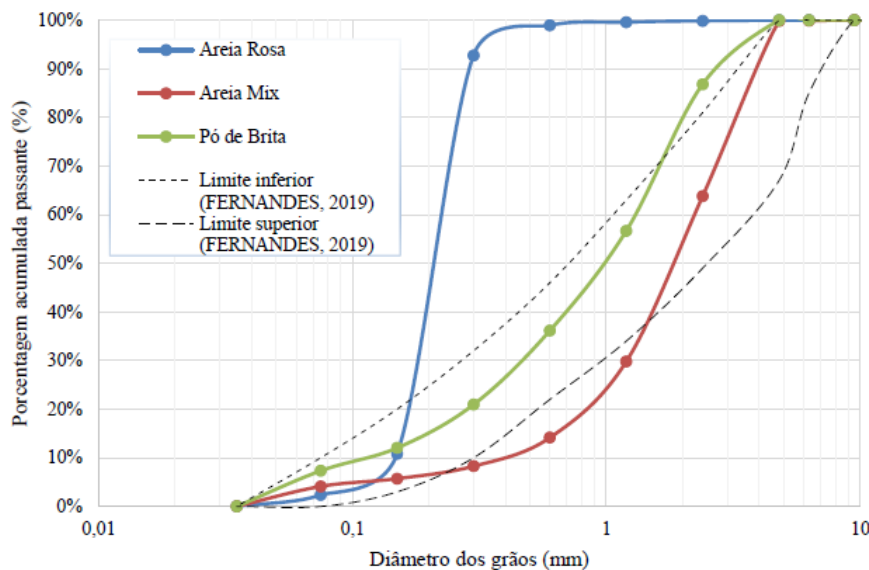


Figura 2 - Curvas granulométricas dos agregados naturais miúdos.

É possível observar que a areia rosa apresenta a granulometria mais uniforme dentre as obtidas para os agregados miúdos componentes do bloco. A areia mix e o pó de brita possuem granulometria mais contínuas, estando o segundo tipo de agregado mais enquadrado nas faixas granulométricas recomendadas por [17].

O pedrisco possui curva granulométrica uniforme e a maior parte de suas partículas pertencem à fração granulométrica compreendida entre os diâmetros de 4,75 mm e 2,4 mm (Figura 3).

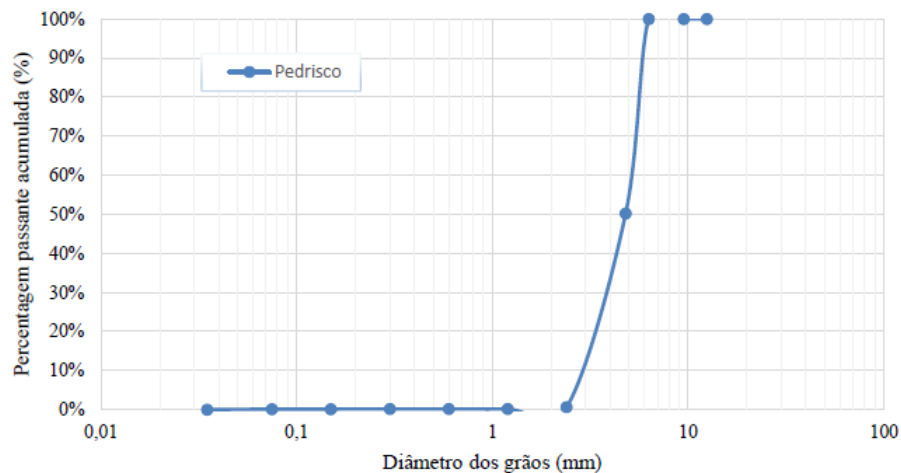


Figura 2 - Curvas granulométricas dos agregados naturais miúdos.

Os dados de dimensão máxima característica (DMC) e módulo de finura (MF) dos agregados componentes do bloco encontram-se apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades dos agregados naturais.

| | Areia rosa | Areia mix | Pó de brita | Pedrisco |
|-----------------|------------|-----------|-------------|----------|
| DMC (mm) | 0,59 | 4,75 | 4,75 | 6,3 |
| MF | 0,98 | 3,78 | 2,88 | 5,49 |

Os agregados naturais que possuem o maior módulo de finura são o pedrisco e a areia mix, respectivamente sendo, portanto, considerados os agregados mais grossos a serem utilizados nos traços. A areia rosa é o agregado natural mais fino empregado no traço, sendo seguida do pó de brita.

Já para o agregado reciclado, foram obtidas curvas granulométricas com dados de [12] e [13], podendo serem avaliados nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

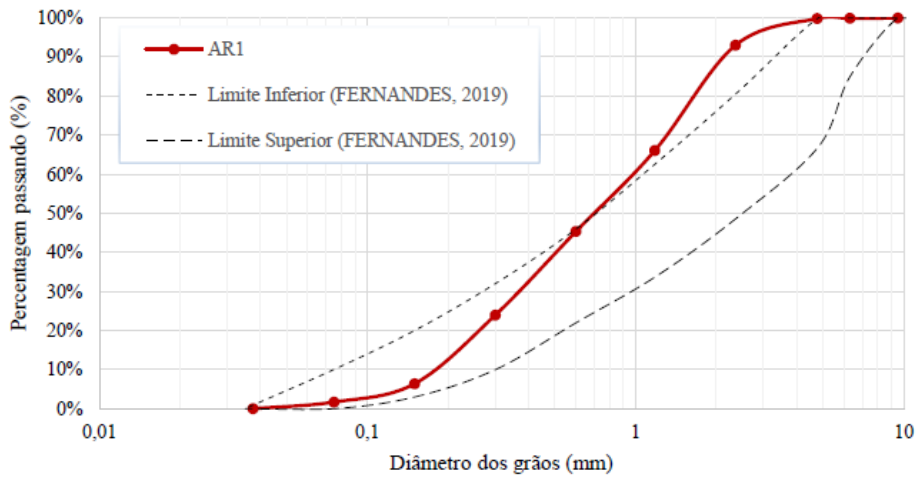


Figura 4 - Curva granulométrica média do agregado reciclados AR1.

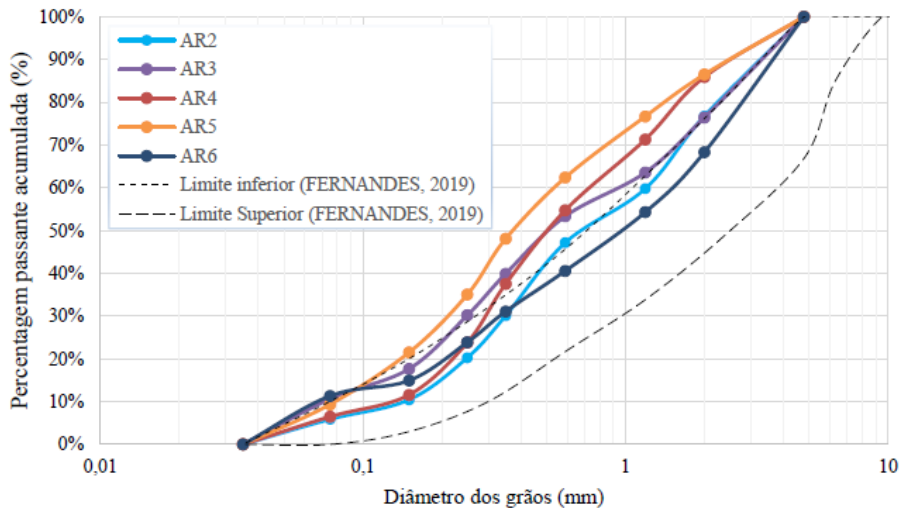


Figura 5 - Curva granulométrica média do agregado reciclados (AR2, AR3, AR4, AR5 E AR6).

As amostras de agregados de RCC coletadas e ensaiadas por [13] em geral, possuem curvas bem graduadas, dentre estes, os agregados reciclados obtidos na amostra AR6 são os que melhor se enquadram na faixa granulométrica proposta por [17]

A comparação das propriedades granulométricas dos agregados reciclados é apresentada na Tabela 4.2. Dentre as amostras de agregados miúdos reciclados analisados, o material de granulometria mais fina é o AR5, com módulo de finura igual a (2,18) e o que possui granulometria mais grossa é a amostra AR6, em que o módulo de finura de (2,98). Todos os agregados miúdos reciclados analisados apresentam uniformidade na dimensão máxima característica (DMC) 4,75 mm (Tabela 4).

Tabela 4 – Propriedades granulométricas dos agregados reciclados.

| | MF | DMC (mm) |
|-----|-----------|-----------------|
| AR1 | 2,66 | 4,75 |
| AR2 | 2,86 | 4,75 |
| AR3 | 2,59 | 4,75 |
| AR4 | 2,53 | 4,75 |
| AR5 | 2,18 | 4,75 |
| AR6 | 2,98 | 4,75 |

Após transformação do traço em massa para a determinação da proporção dos agregados componentes dos traços referência, foi feito a comparando as curvas granulométricas obtidas (Figura 6), com isto, é possível observar que a composição dos agregados do traço (T2) foi a que se mostrou mais contínua e a que melhor se ajustou à faixa granulométrica recomendada para a produção de blocos de acordo com a metodologia proposta por [10]. A Tabela 5 apresenta as propriedades granulométricas obtidas na composição dos agregados para formulação dos traços. O traço (T2) apresentou maior módulo de finura (3,36).

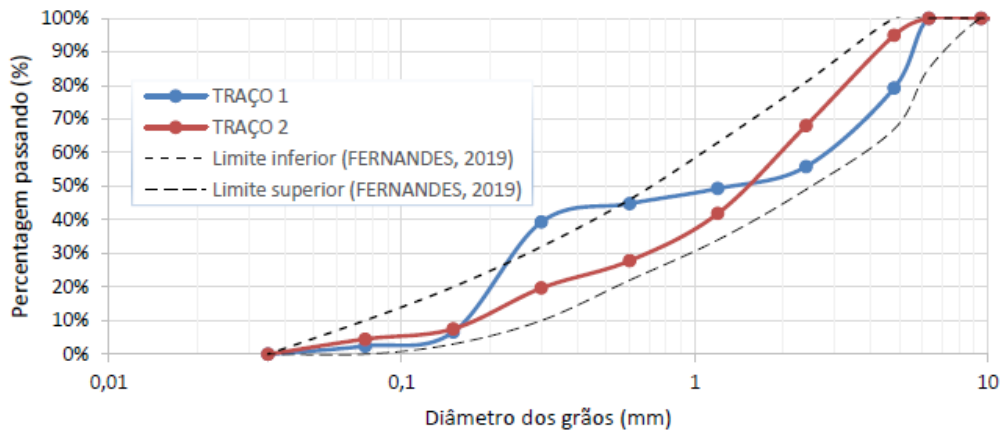


Figura 6 - Composição granulométrica - Combinação T2AR2.

Tabela 5 – Propriedades granulométricas da combinação T2AR2.

| Abertura da malha (mm) | Porcentagem acumulada passante (%) | |
|------------------------|------------------------------------|------|
| | T1 | T2 |
| 12,5 | 100 | 100 |
| 9,5 | 100 | 100 |
| 6,3 | 100 | 100 |
| 4,8 | 79 | 100 |
| 2,4 | 56 | 95 |
| 1,2 | 49 | 68 |
| 0,6 | 45 | 42 |
| 0,3 | 39 | 28 |
| 0,15 | 7 | 20 |
| 0,075 | 2 | 8 |
| Fundo | 0 | 5 |
| MF | 3,25 | 3,36 |
| DMC (mm) | 6,3 | 4,75 |

A última etapa do estudo foi a substituição progressiva dos agregados para os dois traços, a substituição em massa ocorreu para quatro diferentes teores (25%, 50%, 75% e 100%). Considerando todas as simulações feitas com os dois traços, o traço 2 apresentou resultados mais satisfatórios se comparado ao traço quanto a faixa de limites proposta por [10]. Quanto as amostras dos agregados utilizadas, as que mostraram os melhores resultados foram a AR2 e AR6.

As curvas granulométricas obtidas para a combinação (T2AR2) são mostradas na Figura 7. Este caso de combinação granulométrica mostrou-se satisfatório para todos os percentuais de substituição do agregado natural pelo reciclado. No caso de substituição de 100%, a porcentagem que passa na malha de diâmetro de 0,6 mm é ligeiramente superior ao limite recomendado. É possível notar pelo gráfico que até a fração correspondente ao diâmetro de 0,3 mm, as curvas se assemelham ao traço referência (T2) e a partir deste diâmetro, os grãos se tornam mais finos.

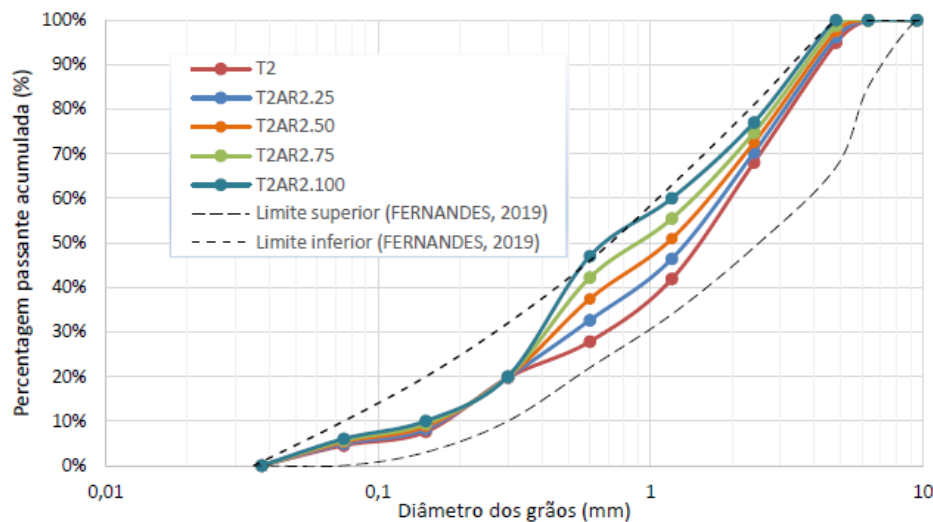


Figura 7 Curva granulométrica dos traços referência (T1 e T2).

Esta combinação apresentou módulos de finura (2,86) na substituição total dos agregados naturais pelos reciclados (AR2), reduzindo cerca de 17% em relação ao módulo de finura do traço referência (T2). Os dados obtidos de propriedades granulométricas desta combinação se encontram na Tabela 6.

Tabela 6 – Propriedades granulométricas da combinação T2AR2.

| Abertura da malha (mm) | Porcentagem acumulada passante (%) | | | | |
|------------------------|------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|
| | T2 | T2AR2.25 | T2AR2.50 | T2AR2.75 | T2AR2.100 |
| 9,5 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 6,3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,8 | 95 | 96 | 97 | 99 | 100 |
| 2,4 | 68 | 70 | 73 | 75 | 77 |
| 1,2 | 42 | 46 | 51 | 55 | 60 |
| 0,6 | 28 | 33 | 37 | 42 | 47 |
| 0,3 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 0,15 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 |
| 0,075 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 |
| Fundo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MF | 3,36 | 3,27 | 3,13 | 3,00 | 2,86 |
| DMC | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 |

Último caso de composição granulométrica analisado é o resultante da combinação (T2AR6), as curvas granulométricas para os diferentes teores de substituição estão apresentadas na Figura 4.17. Esta combinação, foi a que melhor atendeu à faixa granulométrica recomendada para a produção de blocos proposta por Fernandes [10].

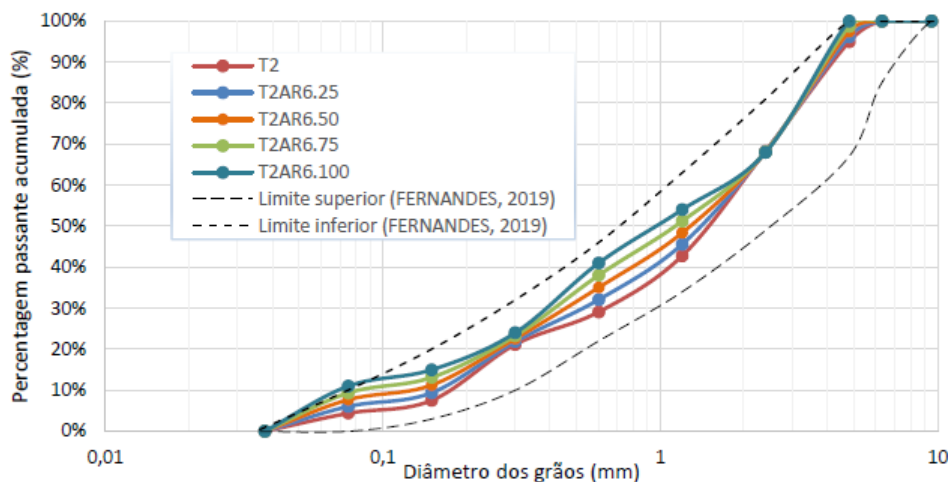


Figura 8 - Composição granulométrica - Combinação T2AR6.

A Tabela 7, apresenta as propriedades granulométricas encontradas para essa combinação. O módulo de finura reduziu cerca de 13% em relação ao módulo de finura obtido para o traço referência (T2).

Tabela 7 – Propriedades granulométricas da combinação T2AR6.

| Abertura da malha (mm) | Porcentagem acumulada passante (%) | | | | |
|------------------------|------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|
| | T2 | T2AR6.25 | T2AR6.50 | T2AR6.75 | T2AR6.100 |
| 9,5 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 6,3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,8 | 79 | 96 | 97 | 99 | 100 |
| 2,4 | 56 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| 1,2 | 49 | 46 | 48 | 51 | 54 |
| 0,6 | 45 | 32 | 35 | 38 | 41 |
| 0,3 | 39 | 22 | 23 | 23 | 24 |
| 0,15 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 |
| 0,075 | 2 | 6 | 8 | 9 | 11 |
| Fundo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MF | 3,36 | 3,27 | 3,13 | 3,08 | 2,98 |
| DMC | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 |

4. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste estudo, baseado exclusivamente em análises das características e propriedades granulométricas dos materiais componentes dos traços do bloco e de agregados reciclados, ambos produzidos, coletados e caracterizados no Distrito Federal, observa-se que os agregados, sejam estes naturais ou reciclados possuem frações granulométricas que não se adequam aos limites propostos para blocos por [10]. Constata-se que duas amostras de agregados reciclados, AR2 e AR6 se adequam de forma satisfatória à faixa limite proposta. E que o traço 1 possui frações granulométricas que não se adequam, mesmo sendo produzido a partir de agregados naturais.

É possível identificar alterações nas curvas granulométricas à medida que há a mistura de diferentes teores de agregados reciclados. Nota-se, principalmente, que a medida em que se aumentou o teor de substituição de agregados reciclados, houve redução do módulo de finura em todos os casos. E ainda, que as substituições realizadas com teores mais elevados de agregados reciclados contribuíram para que as curvas iniciais que não se enquadravam dentro do limite proposto, após a mistura, estas curvas estivessem dentro da faixa de limite proposta por [10].

Por fim, verifica-se que a substituição de 100% de agregado natural por agregado reciclado, representado pela amostra AR6, permitiu que a curva granulométrica estivesse dentro da faixa de limites ideais para blocos de concreto, segunda a literatura. Com isto, conclui-se que do ponto de vista granulométrico, a utilização de agregados reciclados em misturas com agregados naturais ou até mesmo sua substituição por completo é viável para traços utilizados na produção de blocos de concreto, e conseqüentemente, para a construção civil.

Para novos estudos, sugere-se a aplicação de análise de ciclo de vida modular para estas curvas granulométricas, assim como estudo de dosagem para os resultados encontrados, além do estudo do empacotamento de partículas para os traços avaliados, e principalmente quanto a avaliação do controle de qualidade dos blocos de concreto no Distrito Federal.

REFERÊNCIAS

- [1] Martínez-Lage, I.; Vázquez-Burgo, P.; Velay-Lizancos, M. (2020). **Sustainability Evaluation of Concretes with Mixed Recycled Aggregate Based on Holistic Approach: Technical, Economic and Environmental Analysis**. Waste Management. 104:9–19.
- [2] Guo, Z; Tu, A; Chen, C; Lehman, D. E. (2018) **Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates**. Journal of Cleaner Production, v. 199, p. 136–149.
- [3] Silva, G. T.M; Ribeiro, C. C; Ribeiro, S. E. C.; Oliveira, D. M; Oliveira, W. S. (2020) **Resíduos de construção e demolição em tecnologia de concreto: uma revisão**. Brazilian Journal of Development, n. 7, p. 46883-46896.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: **6136 - Blocos Vazados de Concreto Simples Para Alvenaria - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.
- [5] Scheifer, D. M.; Callejas, I. J. A. (2021). **Caracterização física e mecânica de blocos de concreto com incorporação de areia de resíduo de construção civil**. Revista Matéria, v.26, n.4
- [6] Corrêa, C. A. R. **Influência das Frações Granulométricas de Agregados Miúdos Reciclados no Comportamento de Argamassas de Cimento**. 2019. 246p. Tese de doutorado em Estruturas e Construção Civil. Universidade de Brasília. 2019
- [7] Thomas, C.; de Brito, J.; Cimentada, A.; Sainz-Aja, J.A. (2020). **Macro and micro properties of multi-recycled aggregate concrete**. Journal of Cleaner Production, 245.
- [8] Kagonbé, B. (2020). **Physical Characterization and Optimization of Fineness Moduli of Natural Sand from The North Region of Cameroon Used in Construction**. Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies, 5 (1), 407-419 .
- [9] SANTOS, R.A. (2021) **Use of numerical method for optimization of granulometric curves in eco-efficient concrete**. Revista Matéria 26 (04).
- [10] FERNANDES, I. D. **Blocos e Paviers. Produção e Controle de Qualidade**. 8. Ed. Treino Acessoria e Treinamentos Empresariais Ltda. Ribeirão Preto - SP, 2019.
- [11] ALVES, L. DE S. **Influência da Adição de Fibras de Celulose (Papel Kraft) nas Características dos Blocos de Concreto Não Estrutural**. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil Universidade de Brasília, p. 150. 2016.
- [12] TAVARES, J.F. **Estudo da composição granulométrica de agregados reciclados para uso em concreto**. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 111 p. 2016.

[13] SOARES, R. A. O. **Utilização de Agregado Reciclado na Produção de Artefatos de Concreto Sem Função Estrutural**. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 60p. 2019.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776 - **Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1988.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45 - **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248 - **Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

UTILIZAÇÃO DE MACHINE LEARNING PARA PREVISÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CONCRETOS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE USOS E TENDÊNCIAS

Silva, Vitor Pereira¹; Rêgo, João Henrique da Silva²; Junior, Francisco Evangelista³

¹ Universidade de Brasília (UnB), Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – PECC, Brasília-DF, Brasil, victorpereira._14@hotmail.com, 0000-0001-7466-4203

² Universidade de Brasília (UnB), Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – PECC Brasília-DF, Brasil, jhenriquerego@unb.br, 0000-0001-9060-2010

³ Universidade de Brasília (UnB), Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – PECC Brasília-DF, Brasil, jhenriquerego@unb.br, 0000-0002-9353-1083

RESUMO

A resistência à compressão em concretos é um dos principais parâmetros estruturais desse material no estado endurecido. Para a sua obtenção, no caso do Brasil, consulta-se a NBR 5738 que estabelece a realização do ensaio à compressão uniaxial com corpos de prova cilíndricos. Diferentes métodos de dosagem podem ser utilizados para a fabricação de concretos aliados a novas tecnologias e métodos que visam melhorar as propriedades do compósito. *Machine Learning* (ML) é uma área da Inteligência Artificial que engloba diversos modelos, técnicas e tecnologias de aprendizagem de máquina, inclusive estatísticas, sendo uma de suas funções prever comportamentos. O presente trabalho teve por objetivo a realização de um levantamento bibliométrico por meio da metodologia de Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) a respeito da utilização de diferentes técnicas de *Machine Learning* para prever a resistência à compressão do concreto. O levantamento realizado desses dados possibilitou uma melhor compreensão de como diferentes técnicas de ML tem sido utilizadas no contexto da construção civil, quais os principais dados de entrada e os parâmetros estatísticos analisados.

Palavras-chave: Machine Learning; resistência à compressão; concreto.

ABSTRACT

The compressive strength in concrete is one of the main structural parameters of this material in the hardened state. To obtain it, in the case of Brazil, NBR 5738 is consulted, which establishes the performance of the uniaxial compression test with cylindrical specimens. Different dosing methods can be used for the manufacture of concrete combined with new technologies and methods that aim to improve the properties of the composite. Machine Learning (ML) an area of Artificial Intelligence that encompasses several models, techniques and technologies of computer systems, including statistics, one of its functions being to predict behaviors. The present paper aims to carry out a bibliometric survey regarding the use of different Machine Learning techniques used to predict compressive strength through the Systematic Literature Mapping (MSL) methodology. The survey carried out on these data allowed a better understanding of how different ML techniques have been used in the context of civil construction, which are the main input data and the statistical parameters analyzed.

Keywords: Machine Learning, compressive strength, concrete.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais consumidos do mundo. Esse fato faz com que haja uma necessidade de compreender melhor suas propriedades. Ele é composto basicamente por agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita), água, cimento Portland e aditivos. Por uma análise econômica, trata-se de um material de baixo custo se comparado com outros métodos construtivos como estruturas metálicas, mas pode ser considerado complexo pois a interação entre os componentes gera muitos efeitos sobre o material como por exemplo a reação álcali-agregado entre a estrutura de concreto e seus hidróxidos alcalinos. A quantidade de cada um dos componentes para a formulação do concreto (areia, brita, cimento, água e aditivo), denominada dosagem, é essencial e complexa uma vez que afeta diretamente as propriedades do material. Quando a dosagem é utilizada como parâmetro de entrada para previsão de propriedades do concreto utilizando ML, o tratamento de dados experimentais é a principal etapa para se obter uma conclusão científica em forma de função matemática que se adeque bem ao modelo proposto.

O concreto é o principal material para construção de casas, prédios, pontes, viadutos e as mais diversas obras. O cimento Portland é seu aglomerante principal e por meio dele pode-se ter uma noção do aumento de sua demanda no setor da construção. Gomes [1] afirma, baseado em dados foram divulgados pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), que as vendas de cimento no Brasil cresceram 1,1% em agosto de 2021 em relação ao mesmo período do ano anterior, para 5,9 milhões de toneladas. Esses dados demonstram continuidade das obras e vendas imobiliárias como principais motivos para o consumo do produto, além da alta nas obras de infraestrutura, mesmo com elevada inflação no setor.

A previsão da resistência à compressão em concretos por meio do uso de métodos matemáticos e simuladores com inteligência artificial tem ganhado destaque nas pesquisas, uma vez que é uma alternativa para otimizar o processo e evitar erros comuns de amostragem e do controle tecnológico. Porém, para isso a escolha de dados confiáveis para aplicação dos métodos deve proporcionar padronização capaz de auxiliar na comparação dos resultados.

Machine Learning (ML) é uma área que utiliza de desenvolvimento de sistemas computacionais para aprender e se adaptar sem seguir instruções explícitas, podendo prever comportamentos. Nery [2] destaca que empresas de grande porte que fornecem concreto têm começado a implantar sistemas inéditos que permitem algumas ações como concluir, em apenas três dias, os testes de resistência à compressão que levavam até 28 dias melhorando a eficiência dos resultados dos ensaios dos concretos em laboratórios. Isso já indica que a tecnologia tem grande potencial para alcançar até mesmo pequenas e médias empresas.

ML já foi utilizado em diversas áreas como saúde, tecnologia e educação e tem mostrado resultados impressionantes em suas últimas publicações, apresentando potencial na área de construção civil. Algumas técnicas muito utilizadas são *Support Vector Machine* (SVM), *Neural Network* (NN) e *Decision Trees* (DT) e que cada uma dessas pode ser utilizada para a predição do comportamento mecânico de diferentes tipos de concretos.

Logo, esse artigo surge com o objetivo de realizar uma revisão bibliométrica sobre a utilização do *Machine Learning* para a resistência à compressão em concretos no período de 2016-2021.

2. METODOLOGIA

Essa pesquisa foi baseada no método de Mapeamento Sistematizado da Literatura (MSL), já consolidado como uma metodologia tradicional para o levantamento do estado da arte. Uma de suas principais vantagens é a facilidade de compreensão e versatilidade nas análises realizadas. Marsilio et al. [3] mostram que essa técnica sugere tentativas de quantificação da estrutura intelectual de um campo de pesquisa diante de um diagnóstico matemático e estatístico recorrentes em publicações. Percebe-se que a utilização de MSL na construção civil tem chamado atenção no decorrer dos anos e o uso dessa metodologia pode fundamentar bem de que maneira e quais parâmetros as publicações estão utilizando.

A Figura 1 sistematiza a sequência dos procedimentos para a MSL dando uma visão ampla de todo o processo. Primeiramente foi definida a base de dados, logo após a definição da *String* de busca, definição das condições de contorno e, finalmente, definição dos critérios de seleção.

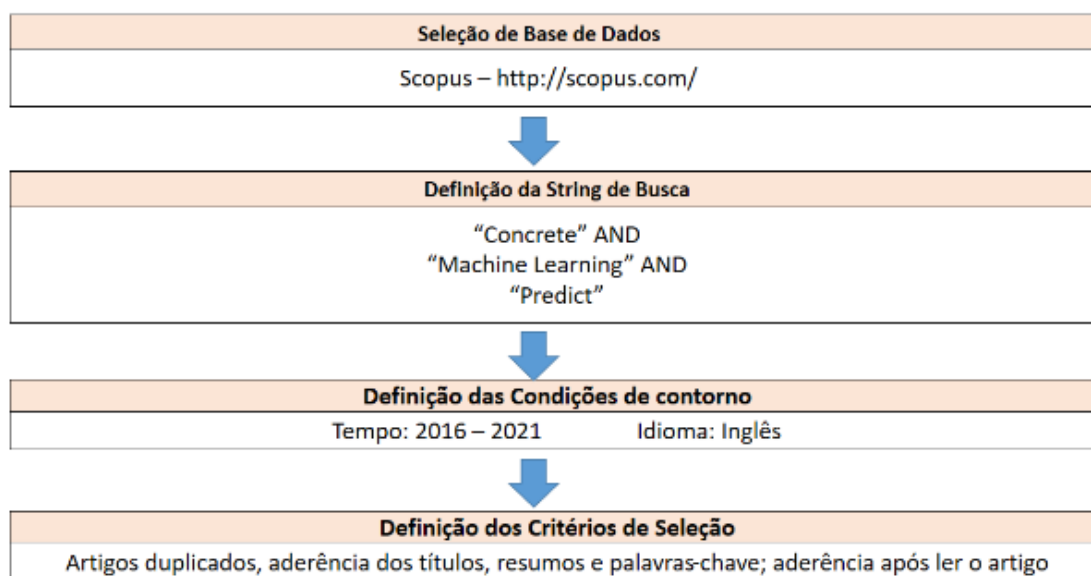


Figura 1 - Metodologia de pesquisa (Fonte: Próprio Autor)

A pesquisa foi restrita a base de dados Scopus, visto que esta se mostrou a mais relevante levando em consideração o critério quantidade de publicações na plataforma. No estudo de Chadegani et al. [4] comparações são realizadas quanto às características quantitativas e qualitativas desta base com a Web of Science e concluiu que a primeira possui mais abrangência de revistas científicas, embora de menor impacto, e consequentemente detêm uma maior quantidade de artigos para um mesmo intervalo de tempo.

Para complementar os resultados das buscas na base Scopus aplicou-se o software VOSviewer 1.6.9[®] para obtenção dos mapas de densidade que conseguem comparar parâmetros de ocorrência com a mesma *String* definida inicialmente. Para o lançamento dos dados foi necessário um filtro dos artigos e publicações que fossem compatíveis com o estudo em questão. Esse filtro foi baseado e proposto por Falcão et al. [5] que consiste em: excluir os textos duplicados; leituras de títulos, resumos e palavras-chaves avaliando a compatibilidade com o tema e por fim a leitura integral dos artigos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando comparativamente para esse estudo, na Web of Science foram obtidos 100 itens e na Scopus 194, sendo que a primeira se restringiu a subárea “*Civil Engineering*” e a segunda a subárea “*Engineering*”. Como o total de artigos da base Scopus é maior decidiu-se por sua escolha, filtrando os artigos relacionados à área de predição da resistência à compressão em concretos resultando um total de 53 publicações. Vale ressaltar que pesquisas que utilizaram ML para predição de outras propriedades mecânicas, relação de análise de custo de material, degradação e estudo de durabilidade do concreto ou que fogem da área da construção foram descartadas.

Com o objetivo de organizar as informações sistematizadas, os parâmetros de análise foram agrupados na Tabela 1 divididos em três grandes grupos: Publicação, Técnicas de ML e Parâmetros de algoritmos.

Tabela 1- Critérios de organização de informações obtidas na revisão da literatura

| | |
|------------|---------------------|
| Publicação | Título |
| | Autores |
| | Ano de Publicação |
| | Local de Publicação |

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| Técnica de Machine Learning (ML) | Support Vector Machine (SVM) |
| | Neural Network (NN) |
| | Decision Trees (DT) |
| Parâmetros dos algoritmos | Dados de Entrada (Input) |
| | Dados de Saída (Output) |

3.1 Análise de parâmetros de publicação

i) Evolução de Publicações ao longo dos anos

A evolução das publicações no período de 2016 até 2021 foi mostrada na Figura 2. No último ano, referente a 2021, houve um aumento de 80,77% em relação ao ano anterior e 23,5 vezes mais publicações se comparada com o ano de 2016, havendo claramente um aumento de publicações sobre o tema nos últimos 5 anos. Optou-se por não selecionar os artigos publicados no início de 2022 pois não configurariam como do ano todo e o quantitativo não poderia ser parâmetro de comparação.

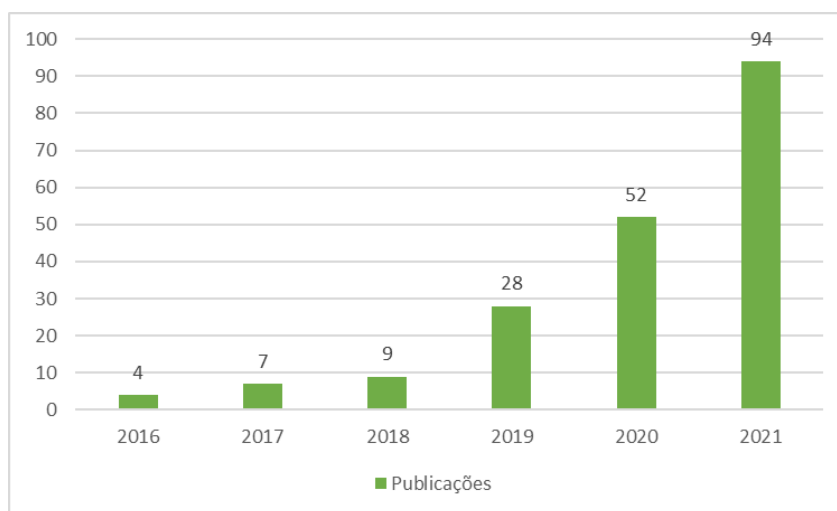


Figura 2 - Evolução das publicações em 2016-2021 (Fonte: Próprio Autor)

ii) Local de Publicações e principais autores

Os principais periódicos e revistas encontrados com a *String* de busca estão destacados na Figura 2, sendo as 3 principais: “Construction and Building Materials”, com 21 itens; “Engineering Structure”, com 15 itens e “Applied Science (Switzerland)” com 10 itens, representando juntos 23% do total nesse período

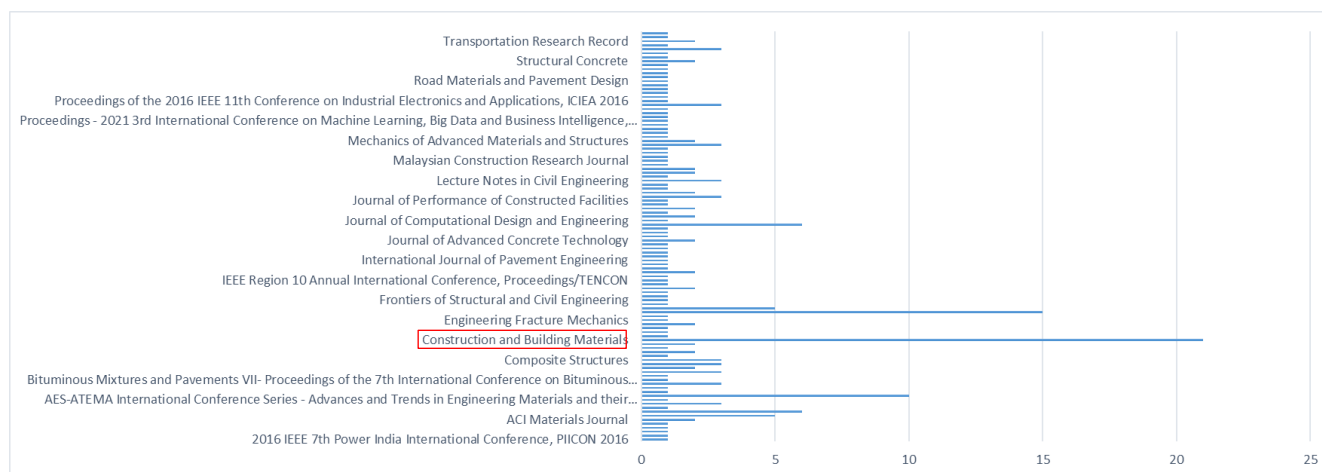


Figura 2- Total de artigos por revistas publicadas. (Fonte: Próprio Autor)

3.2 Análise das diferentes técnicas de ML utilizadas

Diversas pesquisas têm aplicado diretamente o uso de ML em concretos específicos. Chaabene, Flah e Nehdi [6] realizaram uma revisão crítica dos últimos artigos publicados em todo o mundo que abrangem o tema de previsão de propriedades mecânicas do utilizando ML e concluíram que algoritmos como NN e SVM se adequam bem a propostas onde a relação entre os dados não é linear e é afetada por diversos fatores, apresentando menor erro, porém quando se tratam de modelos mais transparentes, DTs e algoritmos evolucionários podem ser aplicados porque eles podem gerar fórmulas matemáticas explícitas que melhor descrevam as relações entre entradas e saídas.

Pesquisas envolvendo concretos auto-adensáveis reforçados com fibra utilizam NN para prever a composição ideal desse concreto por meio da compilação de dados de literaturas disponíveis nos estados fresco e endurecido (RAMKUMAR; RAJKUMAR; AHMMAD; JEAN).[7]

Dias, Jayasinghe e Waldmann [8] investigaram a Regressão Progressiva Gaussiana (RPG) com base em um modelo de ML para prever a resistência à compressão do concreto leve com fibras de Miscanthus, uma erva de origem vegetal. Um banco de dados com 414 dados experimentais, com nove variáveis de entrada, sendo seis, incluindo os constituintes da mistura, forma do corpo de prova, tempo de cura e condição de pré-tratamento e uma variável de saída: a resistência à compressão. Utilizou-se o Matlab ® para implantar o modelo e utilizando as equações de kernel quadráticas racionais gerou-se erros mínimos na predição: no modelo exponencial (R^2 de 0,917) e quadrático (R^2 de 0,918).

Kumar et al [9] também utilizaram algoritmos de ML para modelos de predição de resistência à compressão em concretos leves, porém utilizando RPG, SVM e Ensemble Learning (EL). Os resultados revelaram que o modelo RPG utilizado teve a melhor acurácia e os modelos SVM e RPG apresentaram boa performance com valores de R^2 0,9777 e 0,9740, respectivamente. Os autores afirmam que o modelo proposto é econômico e eficiente e pode ser adotado por pesquisadores e engenheiros para a predição desse tipo de concreto especial.

Algoritmos de aprendizado de máquina supervisionado como Decision Tree (DT), Regressor AdaBoost (AR) foram utilizados em outra bibliografia para estimar a resistência à compressão de concreto com geopolímeros à base de cinzas volantes. Comparando os dois modelos DT e AR, o último foi mais eficaz na previsão dos resultados pois apresentou menores erros e maiores valores de R^2 , também foi realizada uma análise de sensibilidade para verificação da contribuição de cada parâmetro na análise. Por fim, os autores afirmam que a utilização dessas técnicas de ML economizam tempo, esforço e recursos na área da construção civil (AHMAD; ASLAM; JOYKLAD).[10]

Silva et al [11] estimou as principais propriedades mecânicas do concreto reforçado com fibras por meio da previsão de sua resistência à compressão, tração e flexão utilizando redes neurais. A análise de sensibilidade evidenciou que ocorreu um aumento expressivo nas resistências à tração e à flexão ao utilizar fibras, como já se esperava. As métricas indicadoras da qualidade do ajuste na pesquisa foram para os três parâmetros respectivamente erro quadrático médio (MSE) de 22,63, 0,08, 0,80 e um erro absoluto médio (MAE) de 3,64, 0,24, 0,74. A pesquisa destaca que os valores do MSE e MAE elevados para a resistência à compressão apesar de elevados, são aceitáveis tendo em vista a ordem de grandeza dos valores. A diferença entre os valores reais e os valores previstos foram, respectivamente: 7,24%, 6,43% e 12,74%, sendo assim a resistência à tração foi a propriedade com valor previsto mais próximo do real.

Várias pesquisas investigaram a previsão da resistência à compressão do concreto com base em proporções de sua mistura, porém o número de amostras na maioria delas, ainda é pequeno para uma boa análise estatística. Dessa forma Young et al [12] coletaram um conjunto de mais de 10.000 observações de resistências à compressão medidas de misturas reais e outras correspondentes a literatura publicadas por Yeh et al. [13], comparando os dois dados. Os autores também realizam projeções de misturas ótimas com o melhor custo-benefício e menor impacto do CO₂ incorporado.

Dessa forma diversos autores pesquisaram sobre previsão de propriedades de concretos utilizando ML e obtiveram resultados relevantes.

Em relação aos parâmetros de entrada e saída observados nos artigos, percebe-se que para diferentes tipos de concreto, diferentes dados são utilizados. Mesmo assim todos acabam utilizando *inputs* e *outputs* referentes à dosagem do concreto como: consumo de cimento, relação água/cimento, quantidade de aditivo e agregados

3.4 Bibliometria através do VOSviewer

A plataforma do VOSviewer[®] foi criada na Holanda, na Universidade de Leiden e proporciona por meio de mapas, redes de conexões e outros aspectos gráficos uma análise bibliométrica e sociométrica de pesquisas científicas. Seu método de avaliação se baseia na distância dos nós da rede, além das cores em cada um dos mapas conhecidos (VANECK & WALTMAN)[14]

Para essa análise foram considerados os 194 trabalhos filtrados com acoplamento bibliográfico para a análise de correlação entre os autores, sabendo que esse parâmetro utiliza o número de referências compartilhadas como uma medida de singularidade entre eles. Posteriormente analisou-se a co-ocorrência de palavras-chave, utilizando o método de *full counting* para varredura de título, resumo e palavras-chave.

O mapa de densidade em relação à co-autoria é mostrado na Figura 3, concluindo que estes são os 7 principais autores dos artigos filtrados, sendo que Farooq F. e Aslam F. são os dois principais com alguma relação de parceria e Naser, M. Z e Nehdi, M. L. aqueles com maior número de documentos publicados sobre os temas, porém sem relação de co-autoria. Dado que os três principais países a publicarem sobre o tema são Estados Unidos (25%), China (21%) e Vietnã (12%), é possível perceber que a nacionalidade dos cientistas é diversa e que o tema está presente em diversas instituições destes países.

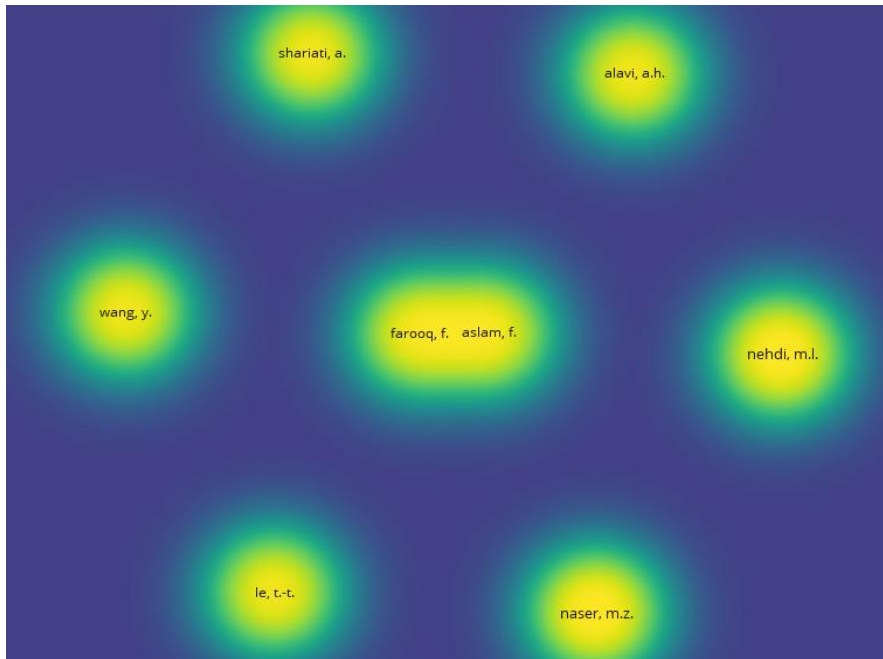


Figura 3 - Mapa de densidades de autores (Fonte: Próprio Autor).

A Figura 4 é um mapa de redes que co-relaciona as principais palavras-chave dos artigos analisados. Percebe-se um total de 5 conjunto de dados sendo as principais palavras-chave “aprendizado de máquina” e “resistência à compressão”. Analisando as cores que variam de um tom azulado escuro para anos anteriores e mais amarelado aqueles mais próximos da atualidade, houve uma tendência a utilização em “concretos de alto desempenho” e com adições minerais como “cinza volante” em 2019 e após esse período mais pesquisas com os temas “concreto reforçado”. Das três principais técnicas de ML existe uma propensão temporal das três, respectivamente: *random forest*, *artificial neural network* e *support vector machine*.

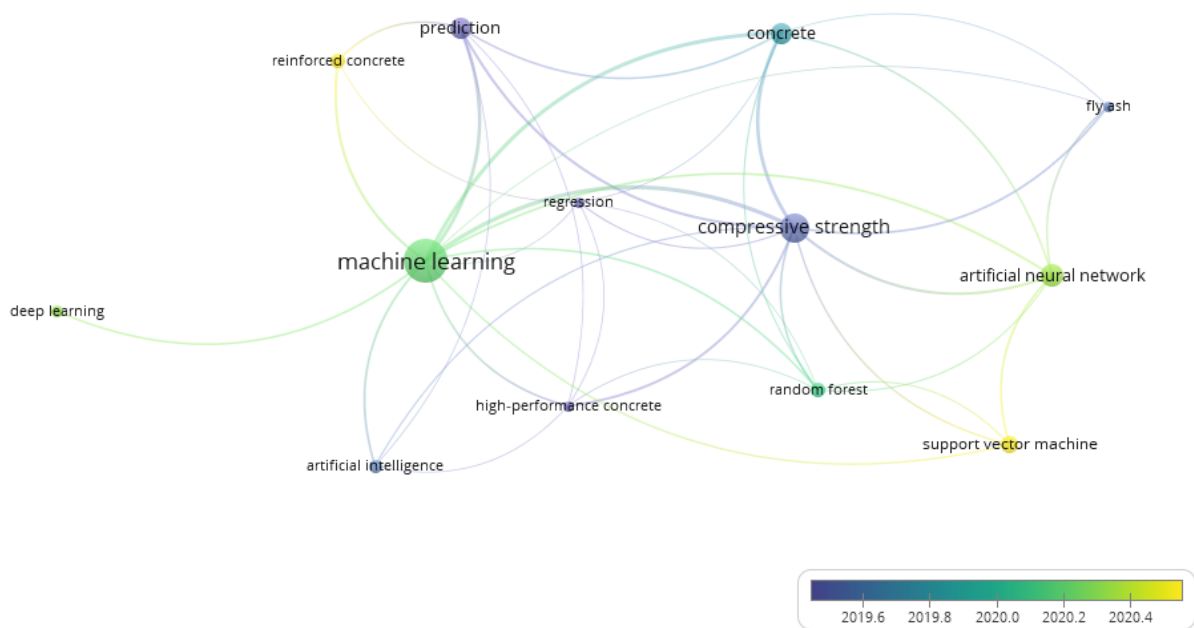


Figura 4 - Mapa de redes de palavras-chave (Fonte: Próprio Autor).

4. CONCLUSÃO

Dessa forma, esse estudo teve como objetivo a realização de uma revisão bibliométrica sobre o uso de ML na previsão da resistência à compressão em concretos. Finalmente foi possível concluir que a linha temática avançou bastante nos últimos anos possivelmente devido à uma necessidade de maior controle tecnológico ou pelo fato de que como o acesso aos laboratórios ficou restrito durante os anos de 2020 e 2021, houve uma tendência de tentar modelar alguns resultados. Após a análise sistemática dos artigos pode-se concluir que existe uma lacuna no conhecimento referente ao critério de escolha dos dados de entrada nos algoritmos. Os principais dados de entrada observados nos artigos foram referentes à dosagem do concreto como: consumo de cimento, relação água/cimento, quantidade de aditivo e agregados. Além disso, embora o tema tenha sido cada vez mais pesquisado nos últimos anos, por meio da análise do VOSviewer percebe-se que há poucas interações e colaborações entre eles, trabalhando principalmente em núcleos distintos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES, juntamente com a Fundação de Brasília (FUB) pelo apoio financeiro durante a elaboração do trabalho, ao meu orientador João Henrique da Silva Rêgo pelas contribuições sempre pertinentes, além do apoio de amigos e colegas, citando alguns como Mara, Maykon, Lucas, Jéssica, Ana Luíza e Melissa, do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC/UnB) que fizeram com que todo o processo se tornasse mais leve e também foram essenciais para a sua conclusão.

REFERÊNCIAS

- [1] GOMES, Wagner. **SNIC: Vendas de cimento crescem 1,1%**. 2021. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/estadao-conteudo/2021/09/10/snic-vendas-de-cimentocrescem-11-em-agosto-e-ja-indicam-arrefecimento.htm>. Acesso em: 06 fev. 2022.
- [2] NERY, Carmen. **IA na Votorantim Cimentos acelera testes de resistência**. 2021. SAS Tecnologia e Inovação. Disponível em: <https://www.digitalmoneyinforme.com.br/ia-navotorantim-cimentos-acelera-testes-de-resistencia/>. Acesso em: 27 fev. 2021
- [3] Marsilio, M.; Cappellaro, G.; Cuccurullo, C. **The intellectual structure of research into PPPs: A bibliometric analysis**. Public Management Review V. 13, 763 782, 2011..
- [4] Chadegani, A.A.C; Salehi, H.; Yunus, M.M.; Farhadi, H.; Fooladi, M.; Farhadi, M.; Ebrahim, N.A. **A Comparison between Two Main Academic Literature Collections: Web of Science and Scopus Databases**. Asian social science; vol. 9, No. 5; 2013
- [5] Falcao, T.D.F. Santos, R.S. Sousa, L.C. Carvalho, M.T.M. **Mapeamento sistematizado da literatura visando a aplicação sinérgica das ferramentas Lean e BIM**. XVII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 2018.
- [6] CHAABENE, Wassim Ben; FLAH, Majdi; NEHDI, Moncef L. **Machine learning prediction of mechanical properties of concrete: critical review**. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 260, p. 119889, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119889>.
- [7] RAMKUMAR, K.B.; RAJKUMAR, P.R. Kannan; AHMMAD, Shaik Noor; JEGAN, M.. **A Review on Performance of Self-Compacting Concrete – Use of Mineral Admixtures and Steel Fibres with Artificial Neural Network Application**. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 261, p. 120215, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120215>.

- [8] DIAS, Patrick Pereira; JAYASINGHE, Laddu Bhagya; WALDMANN, Daniele. **Machine learning in mix design of Miscanthus lightweight concrete**. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 302, p. 124191, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124191>.
- [9] Kumar, A.; Arora, H.C.; Kapoor, N.R.; Mohammed, M.A.; Kumar, K.; Majumdar, A.; Thinnukool, O. **Compressive Strength Prediction of Lightweight Concrete: Machine Learning Models**. Sustainability 2022, 14, 2404. <https://doi.org/10.3390/su14042404>
- [10] AHMAD, Ayaz; AHMAD, Waqas; ASLAM, Fahid; JOYKLAD, Panuwat. **Compressive strength prediction of fly ash-based geopolymer concrete via advanced machine learning techniques**. Case Studies In Construction Materials, [S.L.], v. 16, n. 05, p. 327-345, 01 jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00840>.
- [11] SILVA, L. A.; ARAÚJO, L. B. R.; BEZERRA, A. K. L.; MURTA, A. H. F.; BABADOPULOS, L. F. de A. L.; MEDEIROS JÚNIOR, M. S. **Modelagem preditiva de propriedades mecânicas em concretos reforçados com fibra de aço utilizando redes neurais artificiais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 215-232, abr./jun. 2022. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212022000200602>
- [12] YOUNG, Benjamin A.; HALL, Alex; PILON, Laurent; GUPTA, Puneet; SANT, Gaurav. **Can the compressive strength of concrete be estimated from knowledge of the mixture proportions?: new insights from statistical analysis and machine learning methods**. Cement And Concrete Research, [S.L.], v. 115, p. 379-388, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.09.006>.
- [13] YEH, I. C. Modeling slump flow of concrete using second-order regressions and artificial neural networks. Cement and Concrete Composites, v. 29, n. 6, p. 474–480, 1 jul. 2007.
- [14] Van Eck, N.J., & Waltman, L. (2014). Visualizing bibliometric networks. In Y. Ding, R. Rousseau, & D. Wolfram (Eds.), Measuring scholarly impact: Methods and practice (pp. 285-320). Springer. (book chapter, preprint)

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

USO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM FIBRA DE POLIPROPILENO EM PAINÉIS MONOLÍTICOS: comparativo com a referência

DA ROCHA, Mariane Dominico; PAULINO, Rafaella Salvador

¹ Faculdade Guarapuava, Guarapuava, Brasil, maridarocha0312@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8661-4887>

² Faculdade Guarapuava, Guarapuava, Brasil, rafaellaspaolino@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4881-114X>

RESUMO

As argamassas de revestimento exercem um importante papel nas edificações, contribuindo substancialmente para a durabilidade e qualidade da construção. Têm como função propiciar proteção à alvenaria, promover a regularização das superfícies, garantir a estanqueidade assim como contribuir para a estética. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito causado pela adição de fibras de polipropileno em argamassas de revestimento empregadas na construção civil. Para isso, caracterizou-se uma argamassa utilizada em obra, de traço 1:1,80:0,36 (cimento:areia natural:areia artificial), em volume, com relação água/cimento de 0,72, e adição de fibras de polipropileno no teor 0,3% e aditivo plastificante no teor de 1%, em função da massa de cimento Portland. Em laboratório, para critério de comparação, foi produzida uma argamassa referência de mesmo traço, sem aditivo e adição. As argamassas foram avaliadas no estado endurecido quanto à absorção de água e índice de vazios, resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral. Os resultados dos ensaios indicaram que as argamassas produzidas com adição de fibras de polipropileno são favorecidas quanto ao comportamento físico e mecânicos para todas as propriedades estudadas e se mostram como uma boa alternativa para a melhoria do desempenho das argamassas de revestimento empregadas em painéis monolíticos.

Palavras-chave: reboco; adição; fibras; resistência; durabilidade.

ABSTRACT

Coating mortars play an important role in buildings, contributing substantially to the durability and quality of construction. Their function is to provide protection to the masonry, promote the regularization of surfaces, guarantee watertightness as well as contribute to aesthetics. In this sense, the present work aimed to evaluate the effect caused by the addition of polypropylene fibers in coating mortars used in civil construction. For this, a mortar used on site was characterized, with a ratio of 1:1.80:0.36 (cement: natural sand: artificial sand), in volume, with a water/cement ratio of 0.72, and addition of fibers 0.3% polypropylene and 1% plasticizer additive, depending on the Portland cement mass. In the laboratory, for comparison criteria, a reference mortar of the same trait was produced, without additive and addition. The mortars were evaluated in the hardened state for water absorption and void ratio, compressive strength and tensile strength by diametral compression. The results of the tests indicated that the mortars produced with the addition of polypropylene fibers are favored in terms of physical and mechanical behavior for all the properties studied and are shown to be a good alternative for improving the performance of coating mortars used in monolithic panels.

Keywords: coating mortar; addition; fibers; resistance; durability.

1. INTRODUÇÃO

Com grande uso na construção civil, as argamassas são definidas como uma “mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria” [1]. As principais funções das argamassas de revestimento são: proteção dos elementos de vedação e da estrutura, principalmente contra a ação do intemperismo; regularização da superfície,

contribuindo para a estética da edificação; estanqueidade à água e aos gases, isolamento térmico e acústico, segurança ao fogo e à choques superficiais, etc. [2]. Elas exercem um importante papel nas edificações, contribuindo substancialmente para a durabilidade e qualidade da construção [3].

No entanto, o desempenho das argamassas às vezes é afetado por manifestações patológicas, sendo os mais frequentes: formação de manchas de umidade, desprendimento da argamassa e formação de trincas e fissuras [4,5,6]. Este último exemplo é considerado uma das manifestações patológicas mais críticas, visto que além de destacar o problema na argamassa de revestimento, pode sinalizar o comprometimento da segurança estrutural e o desempenho da vedação em relação à estanqueidade, durabilidade e isolamento térmico/acústico [5]. É possível observar na superfície das argamassas a presença de fissuras e até mesmo o desprendimento das mesmas, resultantes, habitualmente, das movimentações por efeito da temperatura, da umidade do ar, ou mesmo por movimentação da estrutura. De acordo com Baía e Sabbatini (2000, p. 23) [3] “as fissuras são decorrentes do alívio de tensões originadas pelas deformações da base. Elas são consideradas prejudiciais quando permitem a percolação de água no revestimento. O aparecimento de fissuras prejudiciais compromete a aderência, a estanqueidade, o acabamento superficial e a durabilidade do revestimento.”

Com o intuito de reduzir ou evitar tais manifestações patológicas, as argamassas vêm sendo mais estudadas, visando a busca de melhorias em suas características físicas e propriedades mecânicas. Um dos pontos para obter-se tais melhorias é a escolha e/ou inserção de novos materiais na produção das argamassas de revestimento. O objetivo dessas adições é aprimorar as propriedades mecânicas tradicionais e, assim, funcionar como um reforço para evitar trincas [7-10].

A incorporação de fibras naturais e sintéticas em argamassas é um exemplo de um novo material que vem sendo empregado na busca pela maior qualidade e desempenho destas. Essas fibras são geralmente produzidas a partir de vidro, aço e outros polímeros orgânicos [11]. Diferentes fibras sintéticas, como, polipropileno (PP), poliamida (PA), nylon e vidro têm sido utilizados para melhorar o desempenho de argamassas [12-14]. O efeito das fibras sintéticas adicionadas às argamassas de revestimento é dificultar a propagação de fissuras e trincas [15]. Elas agem como barreira para a propagação de fissuras, podendo absorver deformações, aumentar resistência, e assim, garantir melhoria no desempenho [16]. As fibras de polipropileno e nylon são algumas das fibras sintéticas utilizadas para melhorar o desempenho das argamassas de revestimento [13,17,18], classificadas como fibras do tipo polimérico e que possuem um baixo módulo de elasticidade. Não há normalização do processo de produção de argamassas com incorporação de fibras sintéticas [4].

Dessa forma, é necessário avaliar as propriedades da argamassa de revestimento que são influenciadas por essa incorporação, além do conteúdo que deve ser adicionado à argamassa, para que a incorporação possa resultar na redução de manifestações patológicas e, conseqüentemente, na melhoria das propriedades. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito causado pela adição de fibras de polipropileno nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas de revestimento em seu estado endurecido.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados para a composição das argamassas foram: cimento Portland, agregado miúdo natural e artificial, fibras de polipropileno, aditivo químico e água. O cimento Portland utilizado foi do tipo CP II-Z-32, em conformidade com os requisitos da ABNT NBR 16697:2018 [19], com massa específica de 2,92 g/cm³, determinada conforme as prescrições da ABNT NBR 16605:2017 [20]. As suas especificações foram fornecidas pelo fabricante e estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações do cimento Portland CP II-Z-32

| CP II-Z-32 | Limite NBR 16697 (2018) | |
|--|-------------------------|--------|
| Características físicas | | |
| Início do tempo de pega (min.) | 255 | ≥ 60 |
| Fim do tempo de pega (min.) | 310 | ≤ 600 |
| Resíduo insolúvel (%) | 10,92 | ≤ 18,5 |
| Resistência à compressão - 1 dia (MPa) | 14,4 | - |
| Resistência à compressão - 3 dias (MPa) | 28,1 | ≥ 10 |
| Resistência à compressão - 7 dias (MPa) | 34,4 | ≥ 20 |
| Resistência à compressão - 28 dias (MPa) | 42,4 | ≥ 32 |
| Características químicas | | |
| Al ₂ O ₃ (%) | 8,58 | - |
| SiO ₂ (%) | 21,25 | - |

| | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| Fe ₂ O ₃ (%) | 3,23 | - |
| CaO (%) | 52,74 | - |
| MgO (%) | 2,69 | - |
| SO ₃ (%) | 2,55 | ≤ 4,5 |
| Perda de fogo (%) | 7,12 | ≤ 8,5 |
| CaO livre (%) | 0,87 | - |

Para a produção das argamassas foi realizada a combinação entre duas areias a fim de se obter um teor de finos capaz de promover melhorias em termos de fluidez e deformabilidade: areia quartzosa de rio (83,33%) e areia artificial (16,67%). A primeira é proveniente de União da Vitória-PR e a segunda, de pedra de rio do município de Guarapuava-PR. As caracterizações físicas das areias estão apresentadas na Tabela 2 e na Figura 1 estão ilustradas as suas curvas granulométricas.

Tabela 2 – Caracterização física da areia

| Propriedade | Norma técnica | AN | AA |
|---------------------------------------|------------------------------|------|--------|
| Módulo de finura (-) | NBR NM 248 (ABNT, 2003) [21] | 1,74 | 2,73 |
| Dimensão máxima característica (mm) | NBR NM 248 (ABNT, 2003) [21] | 1,2 | 4,8 |
| Classificação | NBR NM 248 (ABNT, 2003) [21] | Fina | Grossa |
| Massa unitária (g/cm ³) | NBR NM 45 (ABNT, 2006) [22] | 1,65 | 1,42 |
| Massa específica (g/cm ³) | NBR NM 52 (ABNT, 2009) [23] | 2,65 | 2,40 |
| Material pulverulento (%) | NBR NM 46 (ABNT, 2003) [24] | 1,16 | 3,86 |
| Absorção (%) | NBR NM 30 (ABNT, 2000) [25] | 0,90 | 1,27 |

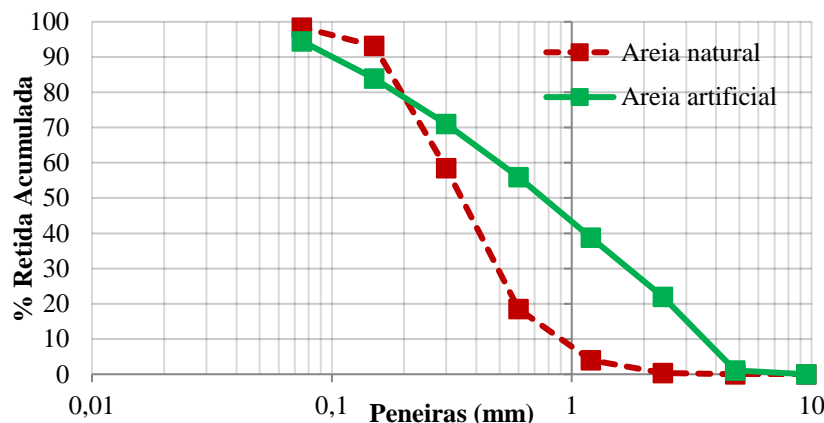


Figura 1 – Curva granulométrica das areias

As fibras de polipropileno utilizadas neste trabalho são compostas de filamentos finos, com comprimento de 12 mm e 18 µm de diâmetro, cuja seção transversal é circular, de acordo com as especificações do fabricante. Apresentam módulo de elasticidade de 3 GPa e massa específica de 0,91 g/cm³. Utilizou-se também aditivo do tipo polímero acrílico em emulsão aquosa, de aspecto líquido, baixa viscosidade, cor marrom e densidade de 1,05 a 1,20 g/cm³, conforme especificações do fabricante.

2.2 Preparo das argamassas

O traço utilizado para produção da argamassa com fibra (AF) foi de 1:1,80:0,36, sendo, respectivamente, as proporções de cimento, areia natural e areia artificial, mantendo-se a relação a/c (água/cimento) de 0,72. As fibras de polipropileno foram adicionadas na proporção de 0,3% e o aditivo plastificante na proporção de 1%, ambos em função da massa de cimento, segundo recomendações dos fabricantes. As argamassas com fibra (AF) foram produzidas em obra, com betoneira de eixo inclinado de capacidade de 400 litros, respeitando a seguinte sequência de mistura: cimento, areia natural, areia artificial, aditivo, água e adição de fibra de polipropileno. Já as argamassas referência (AR) foram produzidas no laboratório de materiais de construção civil da Faculdade Guarapuava. Para que a produção das argamassas

fosse o mais parecido possível com o que executado em obra, manteve-se o traço de 1:1,80:0,36, sem a incorporação de fibras e aditivos e utilizou-se os mesmos materiais, disponibilizados pelo engenheiro civil responsável. O procedimento de mistura seguiu a mesma sequência executada em obra, no entanto, a mistura foi realizada em argamassadeira, visto que o volume de argamassa produzida foi menor.

2.3 Ensaios de caracterização

Após a produção das argamassas, moldaram-se corpos de prova cilíndricos de dimensões de 5x10 cm, conforme as recomendações da ABNT NBR 13279:2005 [26], os quais foram desmoldados após 24 horas de cura, devidamente identificados e mergulhados em tanque de água saturada com cal, onde permaneceram até as idades estabelecidas para a realização dos ensaios no estado endurecido, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Ensaios no estado endurecido

| Ensaio | Idade | Qtde. | Dimensão | Norma |
|---|---------|-------|----------|--------------------|
| Absorção de água | 28 dias | 5 | 50x100mm | NBR 9778:2009 [27] |
| Índice de vazios | 28 dias | 5 | 50x100mm | NBR 9778:2009 [27] |
| Resistência à compressão axial | 28 dias | 5 | 50x100mm | NBR 7215:2009 [28] |
| Resistência à tração por compressão diametral | 28 dias | 4 | 50x100mm | NBR 7222:2010 [29] |

Não foram executados ensaios no estado fresco, visto que a argamassa com fibra foi produzida em obra e não haviam equipamentos para execução de ensaios de caracterização no local, o que se tornou inviável.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Absorção de água e índice de vazios

As argamassas foram avaliadas quanto à absorção de água e índice de vazios aos 28 dias, de acordo com a ABNT NBR 9778:2009 [27]. Os resultados, que consistem na resistência média de cinco corpos de prova, estão apresentados na Tabela 4, que apresenta também o desvio padrão e o coeficiente de variação das amostras.

Tabela 4 – Absorção de água e índice de vazios

| Traço | Amostra | AA (%) | Média (%) | Desv. Pad. (%) | CV (%) | IV (%) | Média (%) | Desv. Pad. (%) | CV (%) |
|-------|---------|--------|-----------|----------------|--------|--------|-----------|----------------|--------|
| AR | I | 19,00 | 18,14 | 1,28 | 7,08 | 33,36 | 32,21 | 1,74 | 5,40 |
| | II | 17,70 | | | | 31,25 | | | |
| | III | 16,53 | | | | 29,61 | | | |
| | IV | 19,32 | | | | 33,74 | | | |
| | V | 19,01 | | | | 33,07 | | | |
| AF | I | 14,56 | 14,35 | 0,60 | 4,18 | 20,12 | 19,84 | 0,64 | 3,24 |
| | II | 13,66 | | | | 19,21 | | | |
| | III | 14,66 | | | | 20,39 | | | |
| | IV | 13,80 | | | | 19,09 | | | |
| | V | 15,08 | | | | 20,38 | | | |

Observa-se que a incorporação de fibras de polipropileno nas argamassas promoveu uma redução em torno de 26% da absorção de água em comparação com a referência. Este resultado corrobora com o apresentado por Colombo *et al.* (2020), que relaciona este comportamento à baixa porosidade e à boa dispersão das fibras encontradas nas argamassas [30].

3.2 Resistência à compressão axial

As argamassas foram avaliadas quanto à resistência à compressão axial aos 28 dias, de acordo com a ABNT NBR 7215:2019 [28]. Os resultados, que consistem na resistência média de cinco corpos de prova, estão apresentados na Tabela 5, que apresenta também o desvio padrão e o coeficiente de variação das amostras.

Tabela 5 – Resistência à compressão axial.

| Traço | Amostra | Individual (MPa) | Média (MPa) | Desv. Pad. (MPa) | CV (%) |
|-------|---------|------------------|-------------|------------------|--------|
| AR | I | 6,54 | 6,38 | 0,25 | 3,89 |
| | II | 6,69 | | | |
| | III | 6,34 | | | |
| | IV | 6,04 | | | |
| | V | 6,29 | | | |
| AF | I | 6,89 | 6,67 | 0,30 | 4,45 |
| | II | 6,64 | | | |
| | III | 6,19 | | | |
| | IV | 6,69 | | | |
| | V | 6,64 | | | |

Pode-se observar por meio da análise dos resultados apresentados, que ambas as argamassas apresentaram resistência à compressão axial com valores médios próximos entre si, sendo o da argamassa com adição de fibras ligeiramente superior, com um aumento em torno de 4,5%, em comparação com a referência. Isso reforça o que diz a literatura com relação às fibras de polipropileno, elas não influenciam de forma significativa a resistência à compressão dos compósitos reforçados. Pesquisas anteriores (Yang *et al.*, 2006) [31] mostram que a adição de macrofibras de polipropileno diminui ligeiramente a resistência à compressão quando comparadas a misturas sem fibras. Tiscoski e Antunes (2016) [32] verificaram em seus estudos que a incorporação de fibras em uma argamassa de cimento com traço 1:5 (cimento:areia) proporcionou uma redução nas resistências mecânicas, e este resultado estava relacionado à incorporação de ar das mesmas. Monte, Barros e Figueiredo (2012) [33] corroboraram com os autores, visto que em sua pesquisa notaram que houve uma elevada correlação entre a incorporação de ar com a resistência mecânica. Uma explicação para este fato é que a fibra longa aplicada não confere uma boa ligação com a matriz do compósito e/ou compromete os pontos de ligação cimentícia entre os agregados das misturas (SANTOS, 2019) [34]. A diminuição da resistência à compressão axial das argamassas com incorporação de fibras de polipropileno ocorre devido ao aumento de vazios provocados pelas fibras (OLIVEIRA; GLEIZE; ROMAN, 2003) [35]. Por outro lado, a utilização de microfibras no trabalho de Zhang e Li (2009) [36] resultaram no aumento da resistência à compressão em compósitos cimentícios.

3.3 Resistência à tração por compressão diametral

As argamassas foram avaliadas quanto à resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias, de acordo com a ABNT NBR 7222:2010 [29]. Os resultados, que consistem na resistência média de quatro corpos de prova, estão apresentados na Tabela 6, que apresenta também o desvio padrão e o coeficiente de variação das amostras.

Tabela 6 – Resistência à tração por compressão diametral.

| Traço | Amostra | Individual (MPa) | Média (MPa) | Desv. Pad. (MPa) | CV (%) |
|-------|---------|------------------|-------------|------------------|--------|
| AR | I | 0,09 | 0,09 | 0,010 | 10,44 |
| | II | 0,10 | | | |
| | III | 0,08 | | | |
| | IV | 0,09 | | | |
| AF | I | 0,13 | 0,13 | 0,003 | 2,53 |
| | II | 0,13 | | | |
| | III | 0,13 | | | |
| | IV | 0,14 | | | |

Pode-se observar por meio da análise dos resultados apresentados, que a adição de fibra de polipropileno conferiu um aumento da resistência à tração das argamassas em torno de 44%, em comparação com a referência. A razão principal

para este aumento de resistência para este tipo de solicitação pode estar relacionada ao efeito proporcionado pela fibra na seção da fratura quando a matriz está sujeita à ruptura, ou seja, a fibra é tensionada através da microfissura quando esta se desenvolve, suportando as tensões de tração impostas, ao mesmo tempo, a concentração de tensões na microfissura é diminuída, minimizando sua propagação. A geração deste efeito adia a ocorrência de danos por formação de microfissuras nas misturas. Para argamassas de revestimento é um comportamento, visto que é um material que trabalha à flexão e isto pode também garantir uma maior durabilidade (SANTOS, 2019) [34].

3.4 Análise visual das rupturas

Após o rompimento das amostras nos ensaios mecânicos, foi realizada uma análise visual das mesmas e pôde-se observar que os corpos de prova moldados com argamassa com fibra (Figuras 2a e 2b) não se romperam por inteiro e não apresentaram separação total das suas partes, as quais permaneceram unidas pelas fibras. Já os corpos de prova moldados com argamassa sem fibra (Figura 2c) apresentaram o modo de ruptura convencional, no qual o corpo de prova divide-se em duas partes com linha de ruptura no eixo longitudinal.

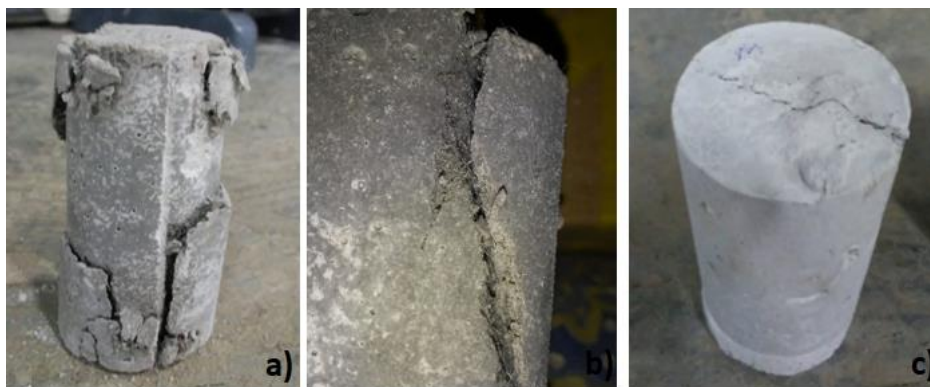


Figura 2 – Detalhe dos corpos de prova de argamassa após a ruptura. a e b) com fibra c) sem fibra

Dentre as fibras poliméricas, as fibras de polipropileno são as que possuem menor capacidade de ancoragem em matrizes cimentícias, devido sua baixa rugosidade superficial, contudo, nas fibras do presente estudo, foi possível notar rugosidades em sua superfície, o que contribui para uma melhor adesão fibra-matriz. Esta característica é de suma importância para as argamassas de revestimento, visto que promove a melhoria da sua capacidade de resistir à fissuração no caso de ocorrência de dilatação térmica ou movimentação do substrato.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados nesta pesquisa, pode-se afirmar que as fibras sintéticas podem ser utilizadas visando a melhoria do desempenho das argamassas de revestimento. Elas mostraram uma menor capacidade de absorver água, o que contribui para uma maior durabilidade do revestimento e em relação ao comportamento mecânico, as argamassas com adição de fibras apresentaram um ligeiro ganho em resistência à compressão em comparação à referência e um aumento em torno de 44% para resistência à tração por compressão diametral, o que mostra que a fibra de polipropileno apresenta um grande potencial de evitar o surgimento de fissuras em revestimentos argamassados, e desta forma, para uma obra executada de painéis monolíticos com o uso de argamassa com fibra de polipropileno como revestimento mostra-se viável tecnicamente, sugerindo-se aprimorar esta pesquisa com a execução do ensaio para determinação da resistência de aderência à tração *in loco*, ao longo do tempo, com vistas à análise da durabilidade do material.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

[2] CASAREK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, IBRACON, 2007.

- [3] BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.
- [4] Tiscoski, B. L.; Antunes, E. G. P.; Vito, M; Godinho, D. S. S. **Efeito da adição de fibras de polipropileno na resistência de aderência à tração em argamassa de revestimento**, in: XII SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, São Paulo, Brasil, 2017.
- [5] Sahade, R.F.; Chotoli, F.F.; De Lima, S.S.; Leal, P. R. M. **Caracterização de argamassa de revestimento de fachada em edifício litorâneo com expansão, fissuração com esfarelamento e baixa resistência mecânica: estudo de caso**, in: Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica Nas Engenharias. Atena Editora, 35-44, 2019.
- [6] Salomão, M.C.; Bauer, E.; Kazmierczak, C. (2018). **Parâmetros de secagem de argamassas de renderização**. Ambiente Construído, 18, 7-19.
- [7] Erdogmus, E. (2015). **Use of Fiber-Reinforced Cements in Masonry Construction and Structural Rehabilitation**. Fibers 3, 41-63.
- [8] Maia Pederneiras, C.; Veiga, R.; De Brito, J. (2019). **Rendering Mortars Reinforced with Natural Sheep's Wool Fibers**. Materials, 12, 3648.
- [9] Pereira, M.V.; Fujiyama, R.; Darwish, F.; Alves, G.T. (2015). **On the Strengthening of Cement Mortar by Natural Fibers**. Mat. Res., 18, 177-183.
- [10] Sharda, S.; Singh, M.; Singh, S. (2016). **A review on Properties of Fiber Reinforced Cement-based materials**. Journal of Mechanical and Civil Engineering, 13, 104-112.
- [11] Paradava, D.D.; Pitroda, J. (2014). **Utilization Of Artificial Fibres In Construction Industry: A Critical Literature Review**. International Journal of Engineering Trends and Technology, 4.
- [12] Guler, S. (2018) **The effect of polyamide fibers on the strength and toughness properties of structural lightweight aggregate concrete**. Construction and Building Materials, 173, 394-402.
- [13] Habib, A.; Begum, R.; Alam, M. M. (2013). **Mechanical Properties of Synthetic Fibers Reinforced Mortars**. International Journal of Scientific & Engineering Research, 4, 923-927.
- [14] Song, P.S.; Hwang, S.; Sheu, B.C. (2005). **Strength properties of nylon- and polypropylene-fiber-reinforced concretes**. Cement and Concrete Research, 35, 1546-1550.
- [15] Bauer, E.; Cortez, I. M. M. (2001). **Compósitos à base de fibras sintéticas em argamassas para revestimento na prevenção da fissuração**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. Anais... Brasília: ANTAC, 89-100.
- [16] Silva, R. P; Barros, M. M. S. B. (2007). **Revestimentos de argamassa com fibras de polipropileno**. Techne: Revista de Tecnologia da Construção, São Paulo, 127, 60-64.
- [17] Bendjillali, K.; Chemrouk, M.; Boulekbache, B. (2019). **Performances of cementitious mortars containing recycled synthetic fibres under hot-dry climate**. European Journal of Environmental and Civil Engineering 23, 1235-1247.
- [18] Monte, R.; Barros, M. M. S. B.; Figueiredo, A. D. (2018). **Evaluation of early age cracking in rendering mortars with polypropylene fibers**. Ambiente Construído. 18, 21-32.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: **Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605: **Cimento Portland e outros materiais em pó. Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.

- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009b.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46: **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003c.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 30: **Agregado miúdo: Determinação da absorção água**. Rio de Janeiro, 2000.
- [26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005a.
- [27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.
- [28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 2009.
- [29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: **Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2010.
- [30] Colombo, F. S.; Antunes, E. G. P.; Jaramillo, L. J.; Piva, J. H.; Wanderlind, A. (2020). **Análise das propriedades físico-mecânicas de argamassas de revestimento com a incorporação de fibras de polipropileno e nylon**. Matéria, Rio de Janeiro, v. 25, n. 04.
- [31] Yang, H.H.; Chen, Z.D.; Dai, J.L. (2006). **Study on mixture of cement-stabilized aggregate mixture with fiber**. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 23(3): 20–23.
- [32] Tiscoski, B. L.; Antunes, E. G. P. (2016). **Análise do efeito da adição de fibras de polipropileno na resistência de aderência à tração em argamassa de revestimento**. In: UNESC, 2016, Florianópolis.
- [33] Monte R.; Barros, M. M. S. B.; Figueiredo, A. D. (2012). **Avaliação da influência de fibras de polipropileno na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. In: Congresso Português de Argamassas de Construção, 4., 2012, Coimbra. Anais... Lisboa: Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS.
- [34] Santos, M. A. Z. (2019) **Análise do efeito da adição de fibra de polipropileno no comportamento mecânico de uma brita graduada tratada com cimento**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- [35] Oliveira, M.L.L., Gleize, P.J.P., Roman, H.R. (2003) **Influência da adição de fibras de polipropileno em argamassas**, in: V SBTA – Simpósio Brasileiro De Tecnologia das Argamassas. In: V Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas, São Paulo, Brasil.
- [36] Zhang, P.; Li, Q. (2009) **Effect of polypropylene fiber on mechanical and shrinkage properties of cement stabilized macadam**. International Journal of Pavement Engineering, v. 10, nº 6, p. 435- 445.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA E DURABILIDADE DE CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND COM ADIÇÕES DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO

SOUZA, Karina¹; BEZERRA, Diego²; AZERÊDO, Aline³; OLIVEIRA, Palloma⁴; SEGUNDO, Silvânio⁵

¹ Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, Brasil, karinafernandes-@hotmail.com

² Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, diegop.bezerra@hotmail.com

³ Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, alinefnobrega@hotmail.com, 0000-0002-2327-8780

⁴ Universidade Federal de João Pessoa, João Pessoa, Brasil, pkarolayne_@hotmail.com

⁵ Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, silvanioseguno@hotmail.com

RESUMO

A indústria da construção civil é uma grande geradora de resíduos prejudiciais, resultantes dos inúmeros processos produtivos. O resíduo de polimento de porcelanato (RPP) é um dos resíduos derivados da indústria cerâmica. Diante disso, essa pesquisa teve por finalidade analisar o emprego do RPP como material suplementar na produção do concreto avaliando sua influência nos requisitos mecânicos e de durabilidade. A metodologia adotada consistiu na realização de ensaios de caracterização do RPP, ensaio no estado endurecido do concreto, resistência mecânica e análise da durabilidade. Os teores de RPP incorporados na composição foram de 10% e 20% em relação a massa cimento, em traços com aditivos plastificantes. O resíduo de polimento do porcelanato com teor de 10% e 20%, considerando a variação da relação água/cimento, obteve um aumento na ordem de 20% na resistência do concreto. Na análise da durabilidade, o ambiente marinho obteve a maior perda de resistência mecânica, referente a 16,9%, seguido do subsolo com 8,53% e da exposição ao gás carbônico com queda de 1,63%.

Palavras-chave: RPP; Resíduo; Resistência; Durabilidade.

ABSTRACT

The construction industry is a major generator of harmful waste, resulting from numerous production processes. Porcelain polishing residue (RPP) is one of the residues derived from the ceramic industry. Therefore, this research aimed to analyze the use of RPP as a supplementary material in the production of concrete, evaluating its influence on mechanical and durability requirements. The methodology adopted consisted in carrying out characterization tests of the RPP, testing in the hardened state of the concrete, mechanical strength and analysis of durability. The levels of RPP incorporated in the composition were 10% and 20% in relation to the cement mass, in traces with plasticizer additives. Porcelain tile polishing residue with a content of 10% and 20%, considering the variation of the water/cement ratio, obtained an increase in the order of 20% in the strength of the concrete. In the durability analysis, the marine environment had the highest loss of mechanical strength, referring to 16.9%, followed by the subsoil with 8.53% and exposure to carbon dioxide with a drop of 1.63%.

Keywords: RPP; Residue; Resistance; Durability.

1. INTRODUÇÃO

A Construção Civil manifesta-se como um grande usuário de matérias primas naturais, contribuindo para o fomento da degradação ambiental. O paradigma vigente tem voltado a sua atenção para questões relevantes ao uso de elementos e tecnologias que possam reverter essa situação. A busca por inovações científicas permitiu o desenvolvimento e a utilização de diversos materiais em obras, com o propósito de melhoria no desempenho técnico e econômico dos empreendimentos [1].

A utilização de adições minerais tem demonstrado ser muito importante no desempenho do concreto de cimento Portland, tanto nas propriedades do estado fresco e endurecido, como no aspecto da durabilidade e, devido a isso, a incorporação de resíduos na produção desses materiais pode proporcionar economia de energia e contribuir para o desenvolvimento sustentável [1].

O concreto é um material que apresenta um grande potencial para absorver elementos alternativos provenientes de rejeitos industriais e resíduos de construção. Dentre as adições minerais está o resíduo de porcelanato produzido pela indústria cerâmica, resultante da fabricação do porcelanato, que consiste em um piso de cerâmica decorrente da etapa de polimento apresentado como pó [2].

O processo de polimento do porcelanato ocorre em um equipamento que possui várias cabeças polidoras compostas de materiais abrasivos, que em contato com as peças em alta rotação e velocidade controlada em presença de água executam o polimento utilizando gradativamente uma granulometria mais fina, até conseguir-se o resultado desejado. O porcelanato pode ser submetido a um processo de polimento superficial removendo alguns décimos de milímetros de material da superfície da peça cerâmica. Esse produto é um revestimento cerâmico impermeável, totalmente vitrificado, esmaltado ou não, cuja peça queimada é branca ou artificialmente colorida [3].

O processo de fabricação do porcelanato origina uma quantidade significativa de resíduo não reaproveitado pelas indústrias. Um dos subprodutos de porcelanato é oriundo do polimento, fundamental para dar acabamento à peça produzida. O volume total do resíduo de polimento de porcelanato (úmido) produzido gira em torno de 8 m³ por dia (\pm 20 toneladas) tomando como base a fábrica da Cecrisa em Santa Luzia, Minas Gerais. Este material é depositado em caçambas e, posteriormente, transportado e lançado em aterros sanitários da prefeitura [3].

2. OBJETIVO

A pesquisa teve o objetivo de realizar a incorporação do resíduo de polimento de porcelanato (RPP) na confecção do concreto e analisar a sua influência como adição mineral no comportamento mecânico e nos aspectos de durabilidade da composição, quando submetido ao ataque de agentes agressivos.

3. METODOLOGIA

A caracterização dos materiais constituintes do concreto, dosagem e confecção dos corpos de prova utilizados na pesquisa foi realizada no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME) da Universidade Federal da Paraíba.

A metodologia teórico-experimental adotada consistiu na caracterização do resíduo de polimento de porcelanato (RPP) e no estudo da influência desta incorporação nas principais propriedades do concreto, tomando como referência um material sem adição de RPP.

O procedimento experimental seguido nesse trabalho foi realizado seguindo as Normas Técnicas referentes aos ensaios de caracterização e resistência mecânica do concreto, que serão apresentadas nos tópicos a seguir. Na Figura 1 representa, de maneira resumida, todo planejamento experimental usado na pesquisa.

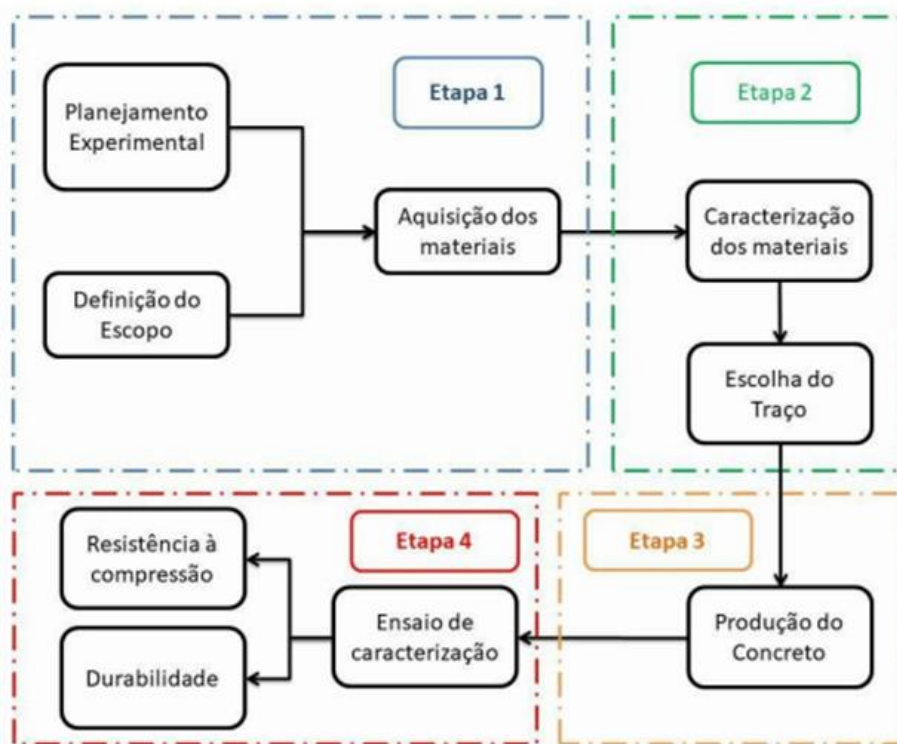


Figura 1 – Fluxograma do programa experimental

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A obtenção dos resultados contemplados nesse tópico está baseada no cumprimento de uma série de processos normativos, critério de dosagem do concreto e confecção dos corpos de prova, todos regidos por um controle tecnológico que visou a obtenção de conclusões satisfatórias da presente pesquisa.

4.1 Ensaio de caracterização do RPP

Primeiramente, foi feito um ensaio de granulometria para conhecer o tamanho das partículas do RPP. Com isso, constatou-se que o resíduo possui um diâmetro médio de 3,74 μm e apresenta uma granulometria apropriada para preencher os vazios deixados pelos grãos de cimento. A partir das curvas de distribuição granulométrica foram obtidos os parâmetros D10 e D90, que estão relacionados aos diâmetros de corte da curva de distribuição acumulada em 10% e 90%, respectivamente, enquanto que, o parâmetro D50 está relacionado à mediana da distribuição e corresponde ao diâmetro médio de partícula (Dm).

Tabela 1 – Ensaio de granulometria à laser do RPP

| Porcentagem acumulada | Tamanho das partículas |
|-----------------------|------------------------|
| Diâmetro a 10% | 0,10 μm |
| Diâmetro a 50% | 1,94 μm |
| Diâmetro a 90% | 11,19 μm |
| Diâmetro médio | 3,74 μm |

Em seguida, como consta no Quadro 3, foi feito o ensaio de fluorescência em Raio-X, onde os resultados para a análise química apresentaram teores altos de SiO_2 , médios de Al_2O_3 , baixos de MgO e traços de Fe, Ca, K, P e Na. A presença do ZrO_2 está relacionada com o grau de brancura do porcelanato.

Tabela 2 – Resultado da fluorescência de raio x

| Elementos | Porcentagens |
|--------------------------------|--------------|
| SiO ₂ | 71,8058% |
| Al ₂ O ₃ | 14,1325% |
| MgO | 4,3522% |
| Na ₂ O | 2,6220% |
| K ₂ O | 2,5405% |
| CaO | 1,7225% |
| Fe ₂ O ₃ | 0,9199% |
| Cl | 0,7423% |
| SO ₃ | 0,4663% |
| TiO ₂ | 0,2304% |
| P ₂ O ₅ | 0,1935% |
| MnO | 0,0901% |
| ZnO | 0,0712% |
| ZrO ₂ | 0,0355% |
| Rb ₂ O | 0,0257% |
| Cr ₂ O ₃ | 0,0132% |
| SrO | 0,0087% |
| NiO | 0,0085% |
| NbO | 0,0052% |

É possível observar que os índices de óxido de magnésio (parte derivada do abrasivo utilizado no polimento do porcelanato) e óxido de cálcio, que provocam reações expansivas na hidratação, aparecem em quantidades inofensivas para uso no concreto com base na NBR 16697 (ABNT, 2018) [4] Cimento Portland Comum. Concluiu-se que grande parte do resíduo é formada por sílica e alumina, o que pode provocar uma melhor trabalhabilidade (dispersão das partículas), refinamento dos poros e maiores resistências (microestrutura mais densa).

De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2014) [5], norma esta que classifica as pozolanas em classes conforme suas origens e exigências mínimas quanto à sua composição, observa-se que o RPP aparece na classe N como uma argila calcinada, apresentando uma quantidade de SiO₂ + Al₂O₃ + FeO₃ superior a 70%. Com relação aos outros componentes, o óxido SO₃ está abaixo de 4%, o álcali Na₂O aparece um pouco acima de 1,5%, o que pode provocar a reação álcali-agregado e a perda ao fogo abaixo da porcentagem máxima de 10%.

Os resultados dos ensaios de massa específica e teor de umidade do resíduo estão apresentados na Tabela 3, ambos os ensaios foram realizados em triplicata para garantir a veracidade dos resultados.

Tabela 3 – Ensaios físicos do RPP

| Norma | Resultado obtido |
|--|-------------------------|
| Massa específica NBR 6474 (ABNT, 2001) | 2,385 g/cm ³ |
| Teor de umidade – Estufa padrão | 22,53% |

4.2 Propriedades do concreto no estado endurecido

A composição em massa adotada foi de 1:2:3 (uma unidade de massa de cimento, para duas unidades de massa de areia, para três unidades de massa de brita), por se tratar de um traço de boa resistência mecânica, econômico e de fácil preparo. Foi utilizado o cimento CPV ARI, fato esse justificado pelo produto ter um alcance de resistência mais alto nas primeiras idades. O fator água/cimento (quantidade de água em relação à quantidade de cimento) variou entre 0,34; 0,37 e 0,40. O aditivo utilizado neste trabalho foi o Sikament PF 171, do fabricante Sika, e consiste em um aditivo líquido, polifuncional de pega normal para concreto com uma ampla faixa de dosagem. A consistência média foi de 5,5. Os resultados da dosagem experimental com idade de ensaio de 7 dias por meio da compressão axial NBR 5739 (ABNT, 2018) (Figura 2), permitiram concluir que os o resultado dos 03 corpos de prova com adição de 10% apresentou um aumento na resistência de 23,61% em relação aos corpos de prova de referência. Já os corpos de prova com adição de 20% não apresentaram influência na resistência mecânica do concreto. Os resultados estão dispostos na Tabela 4.



Figura 2 – Corpos-de-prova em ensaio destrutivo

Tabela 4 – Resultado do ensaio de compressão axial aos 7 dias

| Adição RPP | Número de amostras | Resistência (MPa) |
|------------|--------------------|-------------------|
| 0% | 3 | 30,70 |
| 10% | 3 | 37,95 |
| 20% | 3 | 27,95 |

Após o cálculo do traço (1:2:3:0,4) variou-se os teores de adição bem como da relação água/cimento a fim de encontrar um traço ideal. Passados 28 dias de cura os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão axial. Os resultados estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultado do ensaio de compressão axial aos 28 dias

| Adição RPP | Água/cimento | Número de amostras | Resistência (MPa) |
|------------|--------------|--------------------|-------------------|
| 0% | 0,34 | 3 | 45,38 |
| 20% | 0,34 | 3 | 47,74 |
| 0% | 0,40 | 3 | 32,24 |
| 20% | 0,40 | 3 | 39,63 |
| 10% | 0,37 | 3 | 45,92 |

Com essa variação foi possível concluir que o teor de adição de 20%, com relação água/cimento de 0,34, foi o que apresentou maior resistência mecânica. Dessa forma, encontrou-se um teor ideal tanto para a adição de 10% como para a de 20% viabilizando a implantação do resíduo como material aditivo no concreto.

A presença de partículas inertes na zona de transição do concreto nas primeiras idades atua como pontos de nucleação desorientando a formação preferencial do hidróxido de sódio, dificultando a formação de planos de fraturas contíguos, que enfraquecem o concreto. Sabe-se que RPP possui pouca atividade pozzolânica, entretanto a sua alta finura atuou como filer nos poros e na zona de interface matriz/agregado, agindo como agente densificador destas regiões do concreto durante o processo de hidratação, garantindo uma maior resistência à compressão [6].

Percebe-se que há um ganho substancial de resistência à medida que aumenta o teor de adição para 10%, onde a densificação da pasta diminui a tendência de formação de microfissuras que levam à ruptura do material. De acordo com Silva (2005), esse ganho está relacionado também com o efeito filer responsável pelo preenchimento dos interstícios e a atividade pozzolânica, proporcionando uma maior quantidade de produtos hidratados.

Para os concretos produzidos com adição de 20% de RPP, as partículas de filer também funcionam como agentes de nucleação, acelerando o processo de hidratação, entretanto devido a maior quantidade de partículas de RPP na pasta de cimento, provavelmente há diminuição da ligação entre os produtos hidratados, enfraquecendo o concreto.

A resistência à tração apresenta ser muito mais influenciada pelas características da zona de transição que a resistência à compressão. Isto acontece porque, na resistência à compressão, o concreto chega ao estágio de ruptura já em um estado de fissuração completa, onde existem numerosas fissuras espalhadas por todo o corpo-de-prova. Já na resistência à tração, as fissuras se propagam em direção transversal à aplicação da tensão e a ruptura é função da união apenas de algumas fissuras [7].

4.3 Análise de durabilidade do concreto com adição de RPP

Por último, comprovado o ganho de resistência do concreto com a adição do resíduo foi preciso verificar o comportamento desse frente a ação de agentes agressivos. A análise patológica foi verificada através de ensaios de resistência mecânica à compressão após a exposição dos corpos-de-prova a ambientes agressivos: marinho, subsolo, exposição ao gás carbônico. Para representar o ambiente marinho os corpos de prova foram submersos em uma solução salina que representasse a concentração do mar. Já para o subsolo os corpos de prova foram enterrados e representando a exposição ao gás carbônico os corpos de prova foram expostos ao ar. A partir do resultado com o teor ótimo de adição (10% de adição de resíduo) ou seja, aquele que apresentou o maior ganho de resistência.

Os resultados do desempenho mecânico dos corpos de provas submetidos a simulação de ambientes agressivos encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Desempenho mecânico em ambientes agressivos

| Ambiente simulado | Resistência à compressão (MPa) |
|------------------------------|--------------------------------|
| Corpo de prova de referência | 43,60 |
| Marinho | 36,23 |
| Subsolo | 39,88 |
| Exposição ao gás carbônico | 42,89 |

O ambiente marinho obteve a maior perda de resistência referente a 16,9%, seguido do subsolo com 8,53% e da exposição ao gás carbônico com queda de 1,63% na resistência mecânica.

A perda reduzida na exposição ao gás carbônico foi devido ao ambiente ao qual foram expostos os corpos-de-prova. Esse situa-se no campus da UEPB localizado na cidade de Araruna, município de pequeno porte e por isso produz pouca emissão de gás carbônico.

O ambiente marinho por ser o mais agressivo obteve uma queda de resistência maior, porém esse valor é reduzido quando comparado a concretos usuais visto que a adição de RPP torna o concreto mais impermeável e assim reduz o efeito negativo do ataque de cloretos.

5. CONCLUSÃO

A reciclagem é de fundamental importância para a redução do impacto ambiental e vem mostrando ser uma alternativa interessante para utilização dos resíduos industriais no setor da construção civil, desenvolvendo materiais que atendam aos padrões técnicos, melhorando suas propriedades e não oferecendo riscos ao meio ambiente.

Vários resíduos são usados na confecção de concretos, contribuindo com suas propriedades mecânicas e aspectos de durabilidade. É nesse sentido que esse trabalho procurou avaliar o comportamento de concretos produzidos com a adição do resíduo de polimento do piso porcelanato.

Os concretos com 10% e 20% de adição obtiveram um ganho médio de resistência quando variando suas relações de água/cimento. A variação da relação água/cimento de 0,37% e 10% do teor de RPP obteve uma resistência mecânica de 45,92 MPa, apresentando-se como teor ótimo de adição tanto em termos mecânicos como em execução.

O comportamento do concreto com teor ótimo de adições submetido a agentes patológicos apresentou influência em relação a diminuição da permeabilidade, dificultando a penetração de meios de deterioração e assim contribui para o aumento da vida útil da estrutura.

O resíduo de polimento do porcelanato pode ser usado na confecção de concretos com um aproveitamento satisfatório de suas propriedades mecânicas e dos aspectos de durabilidade, desenvolvendo, portanto, um material com melhor desempenho e contribuindo para a preservação do meio ambiente.

A realização de trabalhos futuros para aprofundar e melhorar o desempenho do RPP no concreto é fundamentada em quesitos como a exploração de novos teores de adições, realização de ensaios específicos de durabilidade, estudo da microestrutura do concreto, ensaios de porosidade e absorção e medições térmicas.

REFERÊNCIAS

- [1] MARQUES, L. N. et al. Reaproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica. **Revista eletrônica de materiais e processos**, v. 2, n. 2, p. 34-42, 2007.
- [2] SOUZA, Paulo Alysson Brilhante Faheina de. **Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato**. 2007.
- [3] SILVA, Guilherme Jorge Brigolini D. 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653: Materiais Pozolânicos**. Rio de Janeiro, 2014
- [6] OLLIVIER, J. P., **Durability of concrete**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil, BT/PCC/192. 129p. São Paulo. 1998.
- [7] MEHTA, P.K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo, Ed. Pini, p.573, 2008.

ÁREA TEMÁTICA: MATERIAIS E COMPONENTES

**ANÁLISE DA DIFERENÇA NO TAMANHO DOS VOXELS DE IMAGENS DE
MICROTOMOGRÁFIA DE RAIOS – X NA POROSIDADE DE MATERIAIS
CIMENTÍCIOS**

PALMA e SILVA, Arthur¹; CAPUZZO, Valdirene²; PEREIRA, André³

¹ Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brazil, eng.aviz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5686-5984>

² Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brazil, valdirenemarkia@unb.br, <https://orcid.org/0000-0001-6923-7565>

³ Universidade Federal Fluminense (UFF), Rio de Janeiro - RJ, Brasil, andre@ic.uff.br, <https://orcid.org/0000-0003-0991-8515>

RESUMO

A microtomografia de raios - X permite que a microestrutura de um material seja analisada, sem que haja destruição da amostra, e com formas de preparação relativamente simples, que proporcionam agilidade e diversas possibilidades de análise de fases dos materiais cimentícios. Contudo, é necessário que se compreenda que os parâmetros escolhidos para a aquisição das imagens microtomográficas geram diferentes resultados, e por isso, deve haver uma correta escolha desses parâmetros para que os resultados sejam condizentes com os objetivos do estudo. Este artigo teve como objetivo comparar a porosidade determinada em duas aquisições de imagens de microtomografia de raios - X diferentes, uma com resolução de *voxel* de 20 μ m e outra com resolução de 10 μ m. A aquisição de imagens foi realizada em um traço de microconcreto de alta resistência, com metacaulim como material cimentício suplementar, e a/c 0,35. Foi realizado pré-processamento das imagens, com aplicação de filtros e regularização de histograma. Após isto, as imagens foram segmentadas através da ferramenta *threshold* do software Fiji/ ImageJ para que os poros fossem quantificados. Os resultados apontam para um aumento na porosidade para as imagens com resolução de pixel de 10 μ m em relação às de 20 μ m. Este fato indica a presença de novos poros que antes não eram contabilizados pela resolução de 20 μ m. Conclui-se que a determinação da resolução adequada para os *voxels* da imagem pode gerar diferenças significativas na porosidade de materiais cimentícios. *Palavras-chave: Microtomografia de raios - X; Materiais cimentícios; Porosidade; Análise de imagens digitais.*

ABSTRACT

X-ray microtomography allows the analysis of the microstructure of a material, without destroying its sample, and with relatively simple preparation requisites, which provide agility and several possibilities for analyzing phases of cementitious materials. However, it is necessary to understand that the chosen parameters for the image acquisition generate different results, therefore, there must be a correct choice of these parameters so the results are consistent with the objectives proposed. This article aimed on the comparison of porosity in two types of images acquired from different microtomography resolutions, one with a voxel resolution of 20 μ m and the other with a resolution of 10 μ m. The Image acquisition was performed on a high-strength microconcrete mix, with metakaolin as supplementary cementitious material. Pre-processing of the images was performed, with the application of filters and histogram regularization. After that, the images were segmented using the threshold tool of FIJI/IMAGEJ software, hence, pores were quantified. The results point to an increase of porosity for images with a pixel resolution of 10 μ m in relation to those of 20 μ m. This fact indicates the presence of new pores that were not previously determined by the 20 μ m resolution. It is concluded that the determination of the adequate resolution for the voxels of the image can generate significant differences in the porosity of cementitious materials.

Keywords: X – ray micromography; Cementitious Materials; Porosity; Digital image processing.

1. INTRODUÇÃO

Uma das mais recentes técnicas para se obter imagens digitais de um material e realizar análises precisas e robustas, é a microtomografia computadorizada por meio de difração de raios-X (micro – CT). Através dessa técnica, são possíveis inspeções visuais acerca de defeitos, grãos, minerais, fraturas, trincas, e principalmente avaliação dos vazios em um sólido [1]. O fluxo de aquisição dos modelos computacionais para a técnica da microtomografia de raios-X, passa pela preparação de uma amostra, aquisição de dados, reconstrução tomográfica, segmentação, geração da malha do modelo e simulações computacionais.

A técnica da microtomografia de raios – X consiste em produzir imagens 3D da parte interna de um material. É importante ressaltar que a preparação das amostras é simples, não exigindo grandes aparatos ou produtos químicos, ao contrário das demais técnicas atuais para obtenção de dados acerca da microestrutura de materiais, nas quais são exigidos diversos processos para uma análise correta de resultados. Para a maioria das amostras, o processo de aquisição de imagens é do tipo não destrutivo, de modo a permitir que uma grande quantidade de imagens seja adquirida de uma única amostra [2].

Após a reconstrução da amostra, um objeto virtual 3D é gerado. O material então pode ser visualizado de diferentes pontos em termos de microestrutura, sendo este fatiado em planos específicos [3]. No entanto, para que sejam quantizadas a porosidade, permeabilidade e demais propriedades destas amostras, são necessários métodos específicos de processamento. Este processamento inclui a seleção da região de interesse na amostra (ROI), a implementação de filtros para redução de ruídos na imagem, bem como a segmentação.

Rattanasak e Kendall [4] utilizaram a técnica da Micro – CT para identificar a porosidade e as características dos poros em argamassas de cimento com compostos pozolânicos. Nesse estudo, foram utilizadas 3 amostras, sendo uma com 25% de substituição de cimento Portland por cinzas volantes, uma segunda com 10% de substituição por caulinita, e a uma terceira amostra de referência, sem substituição. Os resultados apontaram para uma identificação de poros de menor tamanho para a amostra com caulinita, seguida da amostra com cinzas volantes. O material que apresentou o maior tamanho de poro médio foi o traço de referência, ou seja, a mistura com cimento Portland, sem substituição.

Palma e Silva *et al.* [5] utilizaram a microtomografia de raios – X para quantificar poros em misturas cimentícias de microconcretos de alta resistência contendo metacaulim, e chegaram à conclusão que o polímero superabsorvente pode incrementar a porosidade da mistura. Segundo Bernardes *et al.* [6], um ponto importante a se analisar para o uso da técnica Micro – CT é quanto ao tamanho da amostra, que podem ser muito pequenas, conflitando com a questão da representatividade. Baseando-se neste fato, é necessário também que se determine corretamente a resolução das imagens, em relação ao tamanho de seus *voxels*, que são pixels 3D, para que se obtenha as propriedades corretas das imagens. Um tamanho de *voxel* maior, pode proporcionar análises em maiores regiões do corpo de prova, chegando até a avaliá-lo por inteiro. Um *voxel* de menores dimensões poderá proporcionar análises mais detalhadas, mas muitas vezes apenas permite a visualização de algumas regiões da amostra. A definição do tamanho do *voxel* passa a ser, desta forma, um ponto chave para o sucesso nas análises microtomográficas.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a diferença gerada na porosidade de imagens digitais adquiridas pela microtomografia de raios – X, variando - se o tamanho dos *voxels* entre dois tamanhos: 10 μ m e 20 μ m. As imagens foram adquiridas de microconcretos de alta resistência, buscando uma macro porosidade evidente, para que fosse assim possível a medição mais adequada e diferenciação entre as porosidades das duas aquisições.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

O aglomerante utilizado nesta pesquisa foi o cimento Portland de alta resistência inicial, CPV – ARI, conforme a ABNT NBR 16697 [7]. A caracterização deste material está contida na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização do cimento Portland.

| Propriedades | | Requisitos mínimos ^(a) | Resultados | Método de ensaio |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|------------|---|
| Tempo de início de pega (min) | | ≥ 60 | 140 | ABNT NBR 16607 [8] |
| Tempo de fim de pega (min) | | ≤ 600 | 180 | |
| Massa específica (g/ cm ³) | | - | 3,00 | ABNT NBR 16605 [9] Granulometria à Laser |
| Diâmetro abaixo do qual se encontram 10% das partículas – D10 (µm) | | - | 1,30 | |
| Diâmetro abaixo do qual se encontram 50% das partículas – D50 (µm) | | - | 13,10 | |
| Diâmetro abaixo do qual se encontram 90% das partículas – D90 (µm) | | - | 31,76 | |
| Resistência à compressão (MPa) | 1 dia | ≥ 14 | 21,5 | ABNT NBR 7215 (2019) |
| | 3 dias | ≥ 24 | 39,3 | |
| | 7 dias | ≥ 34 | 44,4 | |
| | 28 dias | - | 52,2 | |
| Composição química em óxidos (%) | SiO ₂ | - | 15,03 | Fluorescência de Raios – X (FRX) |
| | CaO | - | 72,25 | |
| | MgO | - | 0,87 | |
| | Al ₂ O ₃ | - | 3,88 | |
| | Fe ₂ O ₃ | - | 3,01 | |
| | K ₂ O | - | 0,32 | |
| | TiO ₂ | - | 0,34 | |
| | ZaO | - | 0,01 | |
| | SO ₃ | ≤ 4,5% | 3,7 | |
| | MnO | ≤ 6,5 % | 0,06 | |
| Perda ao fogo | | ≤ 6,5 % | 6,12 | |

^(a) Limites estabelecidos pela ABNT NBR 16697:2018.

Fonte: Autor (2022).

Atualmente, este tipo de cimento possui um dos maiores teores de clínquer disponível no mercado, sendo assim, possui pouca influência de materiais cimentícios suplementares nos traços.

Foi utilizado metacaulim na composição dos traços desta pesquisa. As propriedades do material estão dispostas na Tabela 2. A caracterização mineralógica do metacaulim desta pesquisa pode ser vista na Figura 1, e foi realizada através da técnica de difração de raios-X (DRX).

Tabela 2. Propriedades do metacaulim.

| Propriedades | | Resultados | Método de ensaio |
|--|--------------------------------|------------|-----------------------|
| Massa específica (g/ m ³) | | 2,54 | ABNT NBR 16605 [9] |
| Diâmetro abaixo do qual se encontram 10% das partículas – D10 (µm) | | 1,47 | Granulometria à Laser |
| Diâmetro abaixo do qual se encontram 50% das partículas – D50 (µm) | | 14,16 | |
| Diâmetro abaixo do qual se encontram 90% das partículas – D90 (µm) | | 42,02 | |
| Composição química em óxidos (%) | SiO ₂ | 54,54 | |
| | CaO | 0 | |
| | MgO | 0 | |
| | Al ₂ O ₃ | 38,73 | |
| | Fe ₂ O ₃ | 2,94 | |
| | K ₂ O | 1,77 | |
| | TiO ₂ | 1,7 | |
| | ZaO | 0,01 | |
| | SO ₃ | 0,07 | |
| | MnO | 0,01 | |
| | SrO | 0,01 | |
| | Se2O3 | 0 | |
| ZnO | 0,01 | | |
| Perda ao fogo | | 2,59 | |

Fonte: Autor (2022).

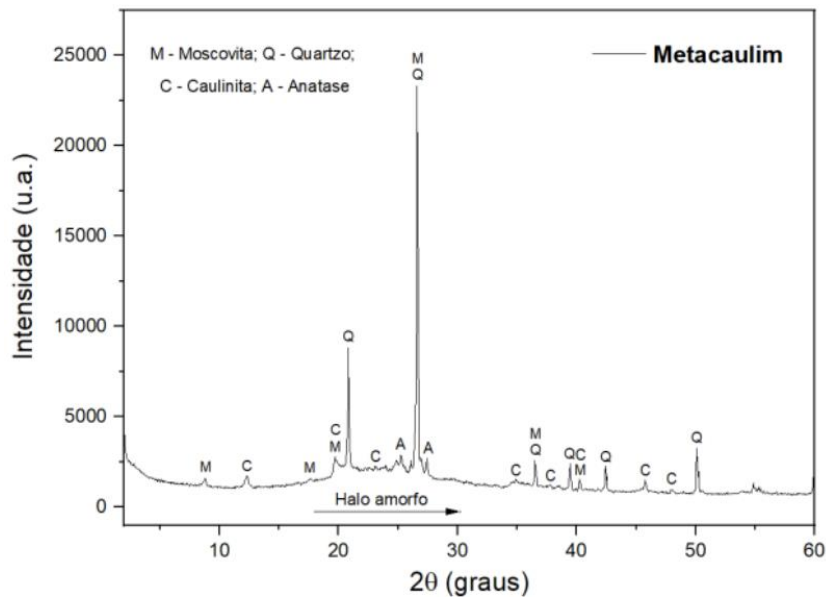


Figura 1. Caracterização mineralógica do metacaulim da pesquisa. Fonte: Autor (2022).

Este material confere ao composto cimentício maiores resistências em idades superiores, devido ao seu efeito pozolânico, e vem se consolidando no mercado brasileiro como um produto eficaz na produção destes concretos.

O agregado miúdo utilizado nesta pesquisa é natural, de origem quartzosa, extraída do Rio Corumbá, na região de Brasília – DF, após um criterioso estudo de seleção. Os ensaios para caracterização física da areia deste trabalho podem ser visualizados na Tabela 3, de acordo com suas respectivas recomendações normativas.

Tabela **Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento..** Caracterização do agregado miúdo

| Características | Resultados | Método de Ensaio |
|---|------------|----------------------|
| Massa específica (g/m ³) | 2,63 | ABNT NBR NM 52 [10] |
| Massa unitária no estado solto (g/cm ³) | 1,58 | ABNT NBR NM 45 [11] |
| Módulo de finura | 2,60 | ABNT NBR NM 248 [12] |
| Dimensão máxima (mm) | 6,3 | |
| Absorção de água (%) | 1% | ABNT NBR NM 30 [13] |

Fonte: Autor (2022)

Os resultados de massa específica e massa unitária estão dentro do esperado para uma areia quartzosa, lavada de rio, bem como a sua capacidade de absorção de água. A areia foi utilizada sem nenhum tratamento ou composição com outros tipos de material, segundo a ABNT NBR 7211 [14]. O material escolhido situa-se dentro dos limites da zona ótima estabelecida pela ABNT NBR 7211 [14] e pelas sugestões do comitê da RILEM TC 255 – SAP [15].

Para atingir os objetivos desta pesquisa, foi necessária a utilização de um aditivo redutor de água de grande eficiência, tendo em vista que os traços utilizados para microconcretos de alta resistência utilizavam relações a/c de 0,35, consideradas baixas, dificultando o processo de moldagem dos corpos de prova. O aditivo utilizado foi um superplastificante de terceira geração, denominado GLENIUM – 51 da empresa BASF, a base de policarboxilato e de pega normal (N), segundo a ABNT NBR 11768 [16]. As principais características desse aditivo são: Dosagem recomendada (%) 0,2 – 1,0; coloração branco turvo, densidade de 1,067 – 1,107 g/cm³, teor de sólidos (%) 28,5 – 31,5.

2.2 Composição do traço

A relação a/c total utilizada nos traços foi de 0,35, fundamentada nas recomendações comitê técnico da RILEM – CT 255 SAP [15], para os ensaios Inter laboratoriais em microconcretos de alta resistência. O espalhamento foi fixado em 190 ± 10 mm, com a finalidade de padronização dos experimentos e ajuste do teor de superplastificante. A consistência dos microconcretos foi determinada usando o molde tronco cônico de Hagermann, segundo a norma DIN 18555 – 2 [17], sem os golpes na mesa. O teor de adição de metacaulim das misturas se manteve em 10% em relação à massa de cimento Portland. O traço utilizado para moldagem dos microconcretos de alta resistência para análises microtomográficas podem ser visualizados na Tabela 4. Primeiramente, os materiais secos foram misturados, e posteriormente, a água foi adicionada, em conjunto com o aditivo superplastificante dissolvido, ocorrendo melhor dispersão dos grãos de cimento e demais materiais.

Tabela 4. Traço de microconcreto definidos. C – Cimento; MK – Metacaulim; A- Areia; SP – Superplastificante.

| Traço | C (g) | MK (g) | Areia (g) | Água teórica (ml) | Água de absorção da Areia (ml) | Teor de água no Superplastificante (ml) | Água total adicionada ao traço (com descontos - ml) | SP (g/m ³) | SP % |
|-------|-------|--------|-----------|-------------------|--------------------------------|---|---|------------------------|------|
| MKR | 700 | 70 | 1340 | 245 | 13,40 | 4,90 | 253,5 | 7,0 | 1,0 |

Fonte: Autor (2021).

As misturas foram realizadas no laboratório da Controle Engenharia LTDA., com o auxílio de um misturador de pás, com 1200 W de potência, frequência de 60 Hz, rotação: 0 a 650 rpm (regulável), dimensões: 410 x 290 x 200 mm. O tempo de mistura foi de 3 minutos em rotação média (aprox. 350 rpm) e de 1 minutos em velocidade acelerada (650rpm) após a limpeza das laterais do recipiente de mistura.

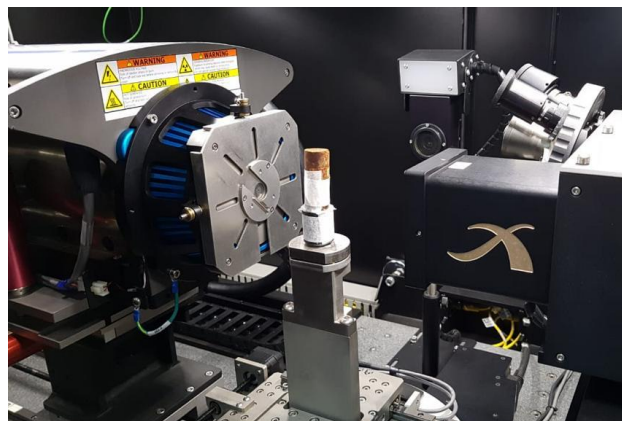
2.3 Microtomografia de raios – X

i. Preparação das amostras e método de ensaio

Foram moldados corpos de prova cilíndricos, de dimensões $\phi 2 \times 4$ cm. A moldagem foi feita em camada única, em seguida, estas amostras foram abrigadas em câmara úmida e sua superfície foi vedada com material vítreo, para que não houvesse secagem. As amostras foram digitalizadas em um sistema de micro – CT de raios – X em alta resolução (Zeiss Xradia Versa 510), o qual gera raios – X com feixes em geometria cônica. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais Digitais da Universidade Federal Fluminense (UFF). A aquisição das imagens ocorreu com uma base giratória, onde a amostra permaneceu estável no equipamento, Figura 2. a). A fonte permanece estável, e o objeto rotaciona em torno de um eixo, ilustrado, Figura 2. b). A partir do conjunto de imagens 2D adquiridas, em escalas de cinza (fatias), é possível formar um objeto digital tridimensional. Após a reconstrução 3D, os pixels que faziam parte das fatias 2D são agora tratados por *voxels* (pixel volumétrico), os quais são os objetos de estudo deste trabalho.



a)



b)

Figura 2. Ensaio com microconcretos no tomógrafo. a) corpo de prova acoplado à base de fixação giratória. b) corpo de prova posicionado no equipamento de aquisição de imagens. Fonte: Autor (2022).

ii. Seleção da resolução das imagens

Um dos itens mais importantes para a definição da resolução das imagens de microtomografia é a distância entre fonte – amostra e entre detector – amostra. A porção da amostra iluminada pela fonte e projetada no detector é denominada Campo de Visão (F) (Field – of – View, FOV). Ao mover-se o detector para perto da amostra, o FOV é aumentado, reduzindo o tamanho dos *voxels* da imagem sendo o inverso também verdadeiro. A fonte também pode se mover para perto da amostra, o que gera um FOV reduzido, diminuindo também o tamanho dos pixels. O movimento contrário da fonte aumenta o FOV e conseqüentemente, o tamanho dos pixels. A Figura 3 contém o mecanismo citado, como forma de modificar a resolução da imagem.

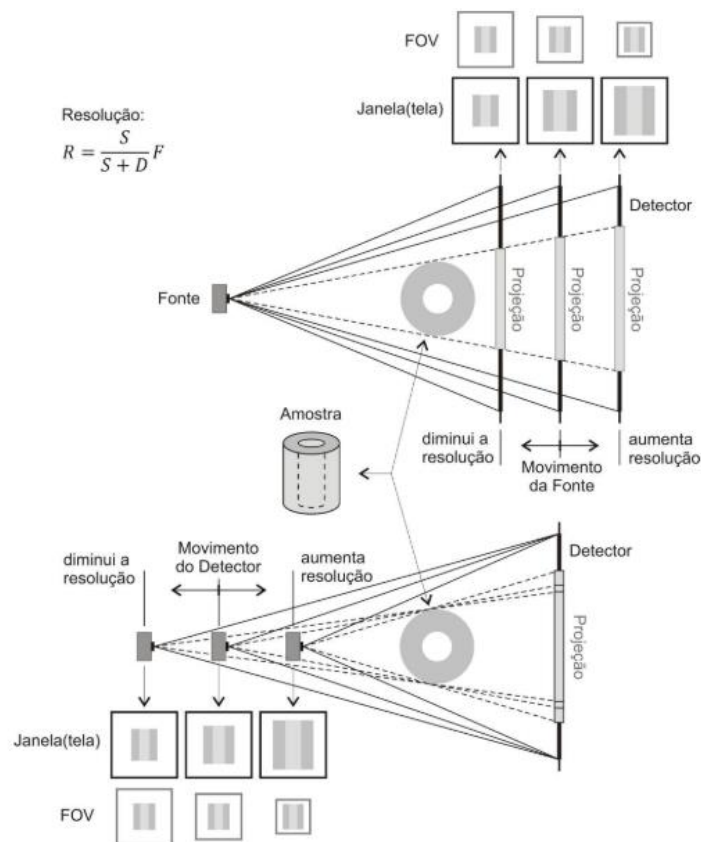


Figura 3: Demonstração dos movimentos de fonte e detector, para que sejam obtidas as imagens digitais. Fonte: Pereira *et al.* [1].

Neste trabalho, as distâncias entre fonte - amostra e entre fonte – detector, foram ajustadas de forma que fossem obtidas duas resoluções diferentes de *voxels*, 20 μ m e 10 μ m. Tanto fonte quanto detector moveram-se para a aquisição das imagens. Houve um balanceamento das distâncias com a finalidade de se atingir as resoluções determinadas. Na resolução de 20 μ m, foi possível realizar a varredura do corpo de prova por inteiro, tendo em vista seu tamanho de $\varnothing 2 \times 4$ cm. Para a resolução de *voxels* de 10 μ m, tendo em vista um menor FOV, apenas uma parcela do volume total da amostra é representada nas imagens.

A Figura 4. contém a diferença das varreduras entre as duas aquisições de imagens. A resolução de 20 μ m, apesar de apresentar maior tamanho, evidencia menos detalhes da amostra, já que seu tamanho permite que sejam observados objetos apenas acima de 20 μ m, o que impede a definição de poros abaixo de 10 μ m, por exemplo. A resolução de 10 μ m se torna interessante para análises, ao passo que permite que fases de menores tamanhos sejam analisadas, contudo,

elimina a possibilidade de uma análise na totalidade do corpo de prova, quando utilizadas as mesmas configurações para a aquisição de imagens em comparação com o procedimento de $20\mu\text{m}$.

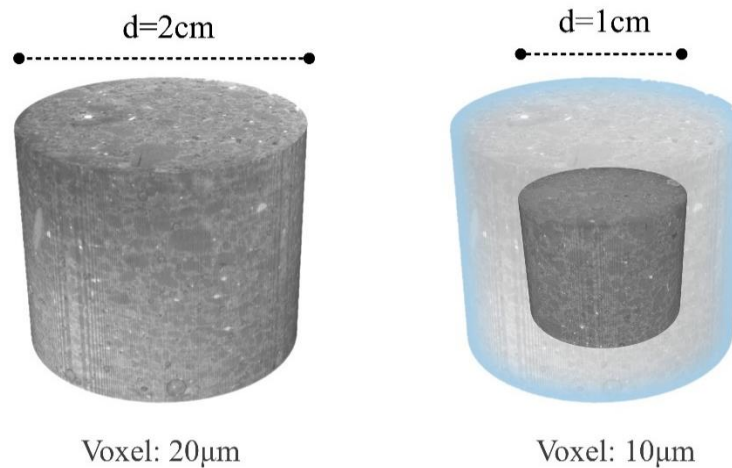


Figura 4. Diferenças dos volumes de varredura da aquisição de imagens, para uma mesma dimensão de corpo de prova de microconcreto. d – Diâmetro. Fonte: Autor (2022).

Foi determinada a razão BIN (ou binning), para as amostras. O BIN 2 escolhido, tem-se o detector matricial de 1024×1024 pixels. Estes parâmetros foram utilizados para os corpos de prova de microconcreto, dos quais foram obtidas ambas as imagens, de $20\mu\text{m}$ e $10\mu\text{m}$ de resolução por *voxel*. Houve uma etapa subsequente, onde ocorreu a escolha da energia ideal a ser utilizada para atravessar as imagens e aquisição de resultados de forma precisa. Foi necessária a definição da tensão e potência do sistema, com o objetivo de atingir a taxa de transmissão ideal, faixa entre 20 e 35%. Após ajustes iniciais na tensão e definição da mesma, foi possível determinar a energia final de transmissão de 140kV.

iii. Processamento e Análise de imagens

O procedimento de análise de imagens foi baseado nos trabalhos de Gomes [18], Enríquez – León *et al.* [19] e Aboufoul, Garcia [20]. Todas as etapas da análise de imagens foram realizadas com o auxílio do software Fiji/ImageJ [21]. Este software foi utilizado como ferramenta para realizar várias etapas deste programa experimental, dentre elas, o pré-processamento das imagens tomográficas. Em primeiro lugar, a equalização dos histogramas foi realizada, com a finalidade de redistribuir a escala de cinzas dos pixels das imagens. Este procedimento é necessário para uma segmentação de imagem mais precisa na segunda etapa do programa experimental. Dessa forma, o percentual de pixels se tornou similar ao longo da escala de cinzas do histograma, tornando-o mais homogêneo, conforme pode ser visto na Figura 5.

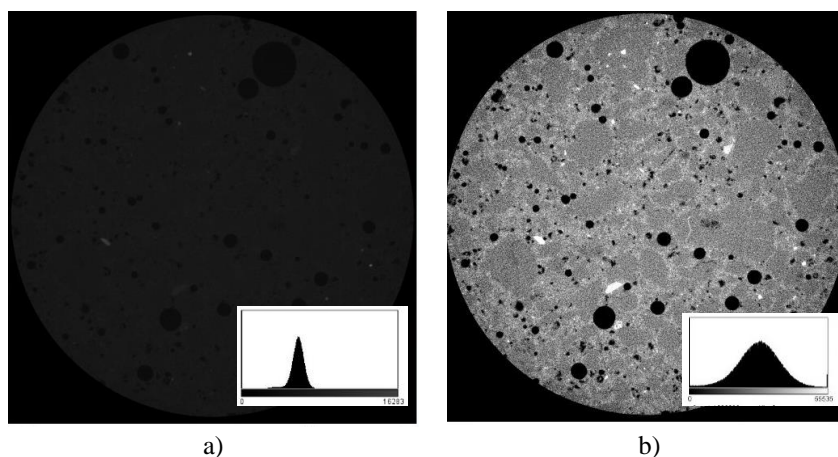


Figura 5. Efeito da regularização de histograma nas imagens. a) Imagem 2D do traço MKR natural, sem tratamento; b) Imagem 2D do traço MKR após regularização de histograma. Fonte: Autor (2022).

Foi aplicado um filtro para melhoramento de definição de imagens, com a finalidade de redução de ruídos advindos do processo de aquisição no micro – CT. O filtro conhecido como NML (Non-local means denoising filter) é um plug-in feito para Fiji/ ImageJ [21], que proporciona esta diminuição de ruídos, e foi utilizado com os parâmetros: sigma = 10 e smoothing factor = 2 após alguns testes.

O método de segmentação de imagens escolhido para este trabalho, foi através da ferramenta *Threshold* (TH) do software Fiji/ImageJ [21]. Esta ferramenta consiste em modificar a escala de cinzas da imagem em questão, seccionando regiões de interesse. Na prática, um certo valor TH é selecionado, e então, a imagem é binarizada. O valor TH depende da experiência do operador, e da amostra que se está analisando. Através desta ferramenta, foi possível separar das imagens, a região correspondente aos macroporos. Este tipo de segmentação, dentre outros métodos que existem atualmente para esta finalidade, foi escolhido baseando-se em pesquisas científicas como Enríquez-León *et al.* [19] e Matanna, Pereira e Costa [22], os quais o utilizam para determinar propriedades similares às desta pesquisa.

Primeiramente, as imagens foram convertidas de 32 para 8 Bits, com a finalidade de facilitar o processo de separação dos itens da imagem pelo processo de segmentação. Na conversão em 8 Bits, a escala de cinzas da imagem é reduzida para a faixa de 0 a 255, o que na prática, auxilia na determinação da faixa que se vai escolher para cada uma das regiões de interesse dos elementos de análise. A escala de 0 a 255 representa os tons de cinza da imagem, sendo que 0 representa preto, o 255 o branco, e os demais tons de cinza estão distribuídos ao longo desta escala. Segundo Promentilla e Sugiyama [23], é possível estimar os valores de TH para a segmentação, encontrando no gráfico do histograma o pico de tons de cinza da imagem, e dividindo este valor em duas partes iguais. Este método foi escolhido para determinar o limite de tons relativos à porosidade dentro do histograma, chegando então ao valor de 75 TH para definir um poro dentro da escala de 255 em tons de cinza.

Após a segmentação, pequenos ruídos nas imagens já segmentada foram ajustados, causados pelo próprio processo de segmentação. Para esta finalidade, foram utilizados os plug-ins Kill Borders e Morphological Operations (MOP). Dentro de MOP, os parâmetros utilizados foram: *erosion* ($r = 1$), *dilation* ($r = 1$), *Geodesic reconstruction* (*dilation e connectivity* = 4) [24] e *despeckle 3D* [25]. Foi possível, após esta etapa, a visualização 3D das imagens microtomográficas adquiridas para cada tamanho de *voxel* determinado. A visualização 3D dos corpos de prova pode ser vista na Figura 6. No início do processo, 1024 imagens foram adquiridas do traço de microconcreto, porém, a retirada de parte das faixas do topo e da base da amostra são necessárias para a redução de ruídos deixados nela pelo processo de aquisição. Esses ruídos são chamados de artefatos, e são causados pelo ângulo de incidência dos raios – X no microtomógrafo. Em outras palavras, os feixes incidem em formato cônico nas amostras, parte das aquisições é prejudicada, necessitando descarte destas imagens 2D. Com isso, 770 imagens restaram de ambas as aquisições microtomográficas, formando a reconstrução 3D das regiões escaneadas.

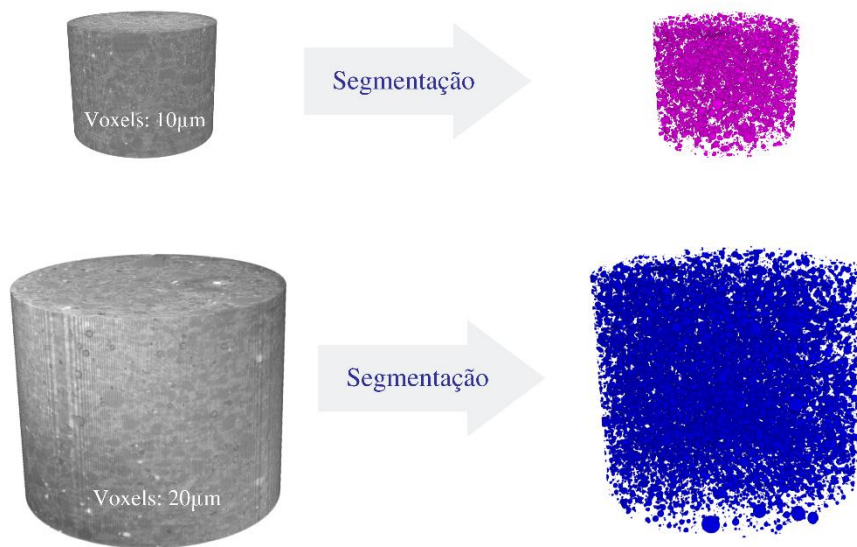


Figura 6. Visualização 3D das fases segmentadas do microconcreto em resoluções de *voxel* diferentes. Fonte: Autor (2022).

Depois de pós processadas, as imagens de Micro – CT foram analisadas para obtenção da porosidade total, e porosidade relativa a cada fatia da tomografia, a fim de compreender a distribuição de porosidade ao longo da altura do corpo de prova.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostras foram analisadas em função de sua porosidade. Em uma primeira avaliação, observam-se as diferenças de porosidade total das amostras. Determinar um *voxel* com resolução de 10 µm, implica que cada *voxel* analisado na imagem, possui o tamanho citado, e o mesmo vale para a resolução de 20 µm. Esta análise permite comparações entre as aquisições tomografias de forma que sejam obtidas quais as influências do tamanho de *voxel* escolhido nas propriedades finais através de uma reconstrução 3D. A Figura 7 contém a comparação percentual de porosidade observada para cada uma das reconstruções, em função do valor de *voxel* escolhido para cada uma delas.

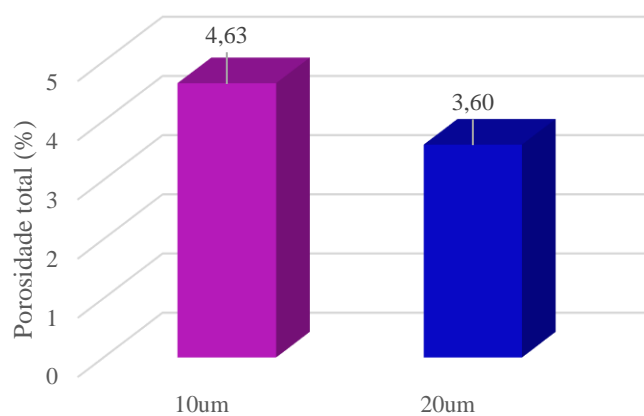


Figura 7. Porosidade determinada para cada reconstrução tomográfica, com 10 µm e 20 µm. Fonte: Autor (2022).

A partir dos resultados, é possível notar diferenças entre a porosidade total obtida quando os tamanhos de *voxels* são distintos. Quando se utilizou 10 μm , a porosidade encontrada na amostra foi de 4,63%, ao passo que para a resolução de 20 μm , o resultado foi de 3,60%. Em suma, quando se utilizou uma resolução menor de *voxel*, houve incremento da porosidade encontrada, e com tamanhos de *voxels* superiores, a porosidade é minorada.

Quando se comparam as duas resoluções, é possível inferir que na resolução de 10 μm , há uma maior possibilidade de que novos poros sejam detectados, já que o tamanho de pixel é menor. Pequenos conglomerados de *voxels*, que antes seriam removidos da imagem de 20 μm , são considerados poros quando se opera com a resolução de 10 μm . Desta forma, é possível inferir que na resolução de 10 μm , existe uma maior definição dos poros contidos, e devido a isto, o resultado de porosidade total é maior do que o resultado para a resolução de 20 μm .

Considerando um poro de tamanho de 10 μm , pode-se admitir que um *voxel* de tamanhos maiores, como 20 μm , não seria suficiente para uma definição deste poro. A menor parte da imagem é um *voxel*, portanto, se um *voxel* tem 20 μm , qualquer fase de menor tamanho não seria bem definida, e seria eliminada pelos filtros do tratamento de imagens. É importante ressaltar que a diferença básica entre as duas imagens está no tamanho dos seus *voxels*, e não na resolução da imagem como um todo, tendo em vista que ambas utilizam um *grid* de imagens de 1024x1024 pixels. Neste caso, a resolução das imagens como um todo e a resolução ou tamanho de seus *voxels* são informações diferentes. A Figura 8. Permite a observação de dois poros de tamanhos similares, observados em amostras com tamanhos de *voxel* diferentes, para uma melhor compreensão de suas particularidades.

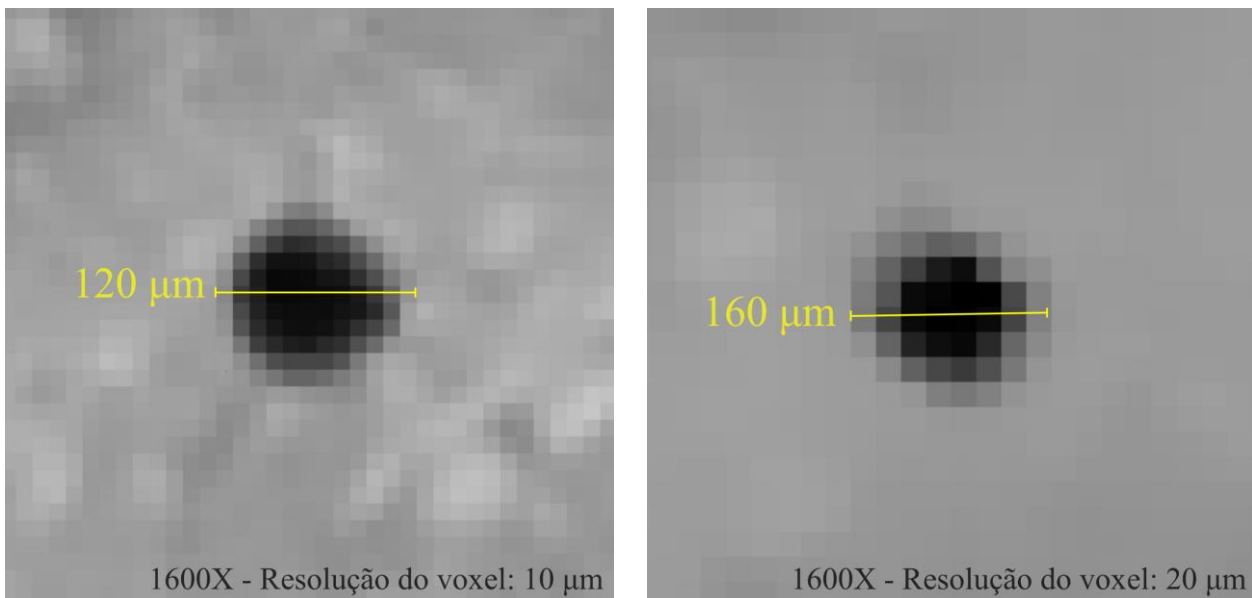


Figura 8. Diferenças entre poros de tamanhos similares quando analisados por meio de imagens formadas por diferentes tamanhos de *voxel*. Fonte: Autor (2022).

É importante salientar que a análise de porosidade é apenas realizada após seguidas todas as etapas no que tange ao tratamento de imagens digitais, incluindo o ajuste dos efeitos de borda nos materiais. O traço desta pesquisa seguiu todos os passos de pré e pós tratamento relatados na metodologia, porém, apenas com finalidade de demonstração da diferença entre as resoluções de *voxel* indicadas, as imagens contidas na Figura 8 não são apresentadas com tratamentos de normalização, ou filtros para ajuste de efeito de bordas.

É observada uma nítida diferença entre as imagens obtidas com diferentes tamanhos de *voxel*. Com 10 μm de tamanho, existe uma maior densidade de *voxels* para a formação de uma estrutura de tamanho similar, como os poros das imagens, em relação às imagens com *voxel* de 20 μm . Além disso, na resolução de 10 μm , já possível visualizar estruturas que formam a matriz cimentícia com coloração esbranquiçada ao redor do poro. Este fato evidencia um nível de análise mais refinado para esta resolução, obviamente, apresentando também perda de volume de varredura no resultado, tendo em

vista que na resolução de 20 μm é possível que se faça a varredura do corpo de prova como um todo, o que não ocorre para 10 μm . A Figura 9, contém o estudo de histogramas realizado para as duas resoluções de imagens. Neste estudo, a quantidade de fatias de tomografia encontradas para cada faixa de porosidade é quantificada em cada uma das resoluções.

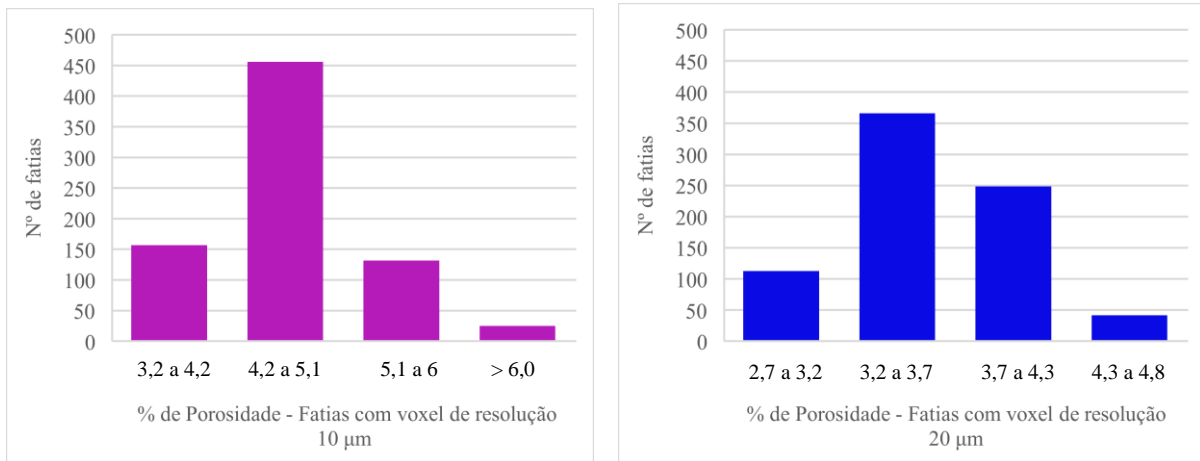


Figura 9. Histogramas de distribuição de porosidade nas fatias 2D sob análise, com diferentes resoluções de *voxel*.
Autor (2022).

Como resultado, é possível observar que para a resolução de 10 μm , a maioria das fatias de tomografia analisadas contém um percentual de porosidade entre 4,2% e 5,1%, aproximadamente 450 fatias. Para a resolução de 20 μm , a maioria das fatias 2D que compõem esta reconstrução tomográfica se encontra na faixa de 3,2% a 3,7%, totalizando 364 fatias. Estas análises corroboram com o fato de que, para menores resoluções de pixels, mais poros são considerados, e dessa forma, o percentual de porosidade para a maior parte das fatias aumenta. É possível ainda visualizar a Fatias 2D com mais de 6% de porosidade para a resolução de 10 μm , o que não se repete para o caso da resolução de 20 μm .

Através da porosidade em cada fatia que compõe a reconstrução 3D de uma amostra, foi possível ainda determinar o desenvolvimento de porosidade para cada uma das 770 imagens das microtomografia, e visualizar como se dá a variação de porosidade ao longo destas fatias. Estes resultados podem ser visualizados na Figura 10.

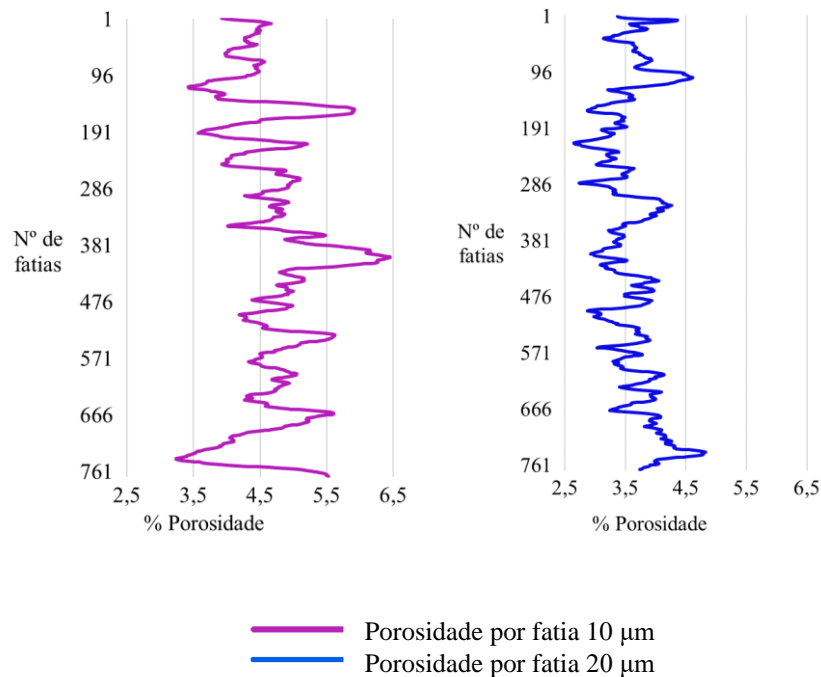


Figura 10. Distribuição de percentual de porosidade nas fatias 2D obtidas para cada resolução de voxel.

Observando os gráficos de desenvolvimento de porosidade ao longo das fatias 2D que formam a reconstrução 3D da amostra, é possível notar uma maior homogeneidade para os resultados de 20 µm, em relação aos de 10 µm. Os valores de porosidade para 10 µm estão situados entre 3% e 6,5% em sua maioria, ao passo que, para 20 µm, os valores estão dispostos entre 2,5% e 5%. Ao avaliar-se o desvio médio dos resultados, em relação à média entre eles, a qual na prática, é o valor tomado como porosidade do corpo de prova como um todo, a constatação acerca da homogeneidade dos traços pode ser confirmada. Para a resolução de 10 µm, houve porosidade média de 4,63%, com desvio médio de 0,47%. Já para 20 µm, a porosidade média foi de 3,60%, com desvio médio de 0,33%.

A partir dos resultados, é possível inferir que houve maior desvio de resultados para 10 µm, evidenciando a consideração de novas estruturas porosas as quais antes não eram detectadas na resolução de maior valor, o que afeta a porosidade total das fatias e da reconstrução 3D. Os resultados elucidados nesta pesquisa, fornecem importantes inferências acerca do tamanho ideal de *voxel* a ser escolhido para a realização de processamento e análise digital de imagens em materiais cimentícios.

A resolução de *voxel* determinada no início do processo de aquisição de imagens digitais é de extrema importância para o resultado final da análise digital das imagens, e pode acarretar análises distorcidas em termos de quantificação de estruturas na matriz. Quando o objetivo de um estudo é analisar estruturas porosas ou outras fases em uma matriz cimentícia, as quais eventualmente possuem tamanhos menores, o ideal é a redução do tamanho do *voxel* para que estas fases sejam melhor definidas nas imagens. Foi demonstrado que dois poros de tamanhos similares, cerca de 100 µm, possuem qualidades de definição superiores quando o tamanho do *voxel* é menor, pois a densidade de *voxels* para a formação da estrutura na imagem é maior, portanto, é obtida uma maior qualidade na análise.

4. CONCLUSÕES

É possível concluir que a escolha correta da resolução dos *voxels* para uma microtomografia de raios – X é de extrema importância, e modifica os valores obtidos nas etapas de resultados. Na resolução de 10 µm, foi possível uma maior definição dos poros, por conta do menor tamanho dos *voxels* da imagem. Nesta resolução, foi possível também encontrar estruturas porosas de menores diâmetros que não foram consideradas na resolução de 20 µm, devido à baixa definição na formação destas estruturas para este tamanho de *voxel*. Este fato pode diminuir a porosidade total da reconstrução 3D, pois poros de menores diâmetros que não estão bem definidos na resolução de *voxel* de 20 µm serão eventualmente

considerados parte de outras estruturas dentro da análise, por conta dos filtros aplicados na etapa de pré e pós – processamento.

Ao se escolher a resolução de 20 μm , o corpo de prova pôde ser escaneado por completo, permitindo uma melhor representatividade do material, o que também pode ser um fator determinante para diferenças na quantificação da porosidade nas amostras. Por fim, observa-se que para quantificação de poros com diâmetros menores, de 50 μm a 100 μm por exemplo, uma resolução de *voxel* de 10 μm seria mais adequada, pois consideraria estes poros na quantificação total. Se o objetivo do estudo é analisar o corpo de prova por inteiro, o tamanho de 20 μm se torna mais interessante.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às instituições que contribuíram com este trabalho: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPQ), Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF/ Processo nº 00193-00000229/2021-21, Controle Engenharia LTDA – DF e Laboratório de Materiais Digitais da Universidade Federal Fluminense (UFF).

REFERÊNCIAS

- [1] Pereira, A. **Experiências na engenharia da UFF com micro tomografia de raios-X**. História, histórias, v. 2, n. 11, p. 18-33, 2016.
- [2] Landis, E. N.; Nagy, E. N.; Keane, D. T. Microtomographic measurements of internal damage in portland-cement-based composites. **Journal of Aerospace Engineering**, v. 10, n. 1, p. 2-6, 1997.
- [3] Vianna, Rafael S. *et al.* Computing Effective Permeability of Porous Media with FEM and Micro-CT: An Educational Approach. **Fluids**, v. 5, n. 1, p. 16, 2020.
- [4] Rattanasak, U.; Kendall, K. “Pore structure of cement/pozzolan composites by X-ray microtomography”, **Cement and Concrete Research**, v. 35, pp. 637-640, 2005.
- [5] Palma E Silva, Arthur Aviz *et al.* Evaluation of mechanical properties and microstructure of high-performance mortars with superabsorbent polymers and metakaolin by means of X-ray computed microtomography. **Journal of Building Engineering**, v. 51, p. 104219, 2022.
- [6] Bernardes E. E.; De Magalhães, A. G.; Vasconcelos, W.L.; Carrasco, E.V.M.; Nunes, E.H.H.; De Lima, L. B. - **Characterization of test specimens produced in reduced size for X-ray microtomography (μ -CT) tests**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, Volume 10, Number 5 (October 2017) p. 1025 – 1041 • ISSN 1983-4195. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952017000500005>, 2017.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR, ABNT 16697: Cimento Portland — Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR, ABNT. 16607: Cimento Portland—Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR, ABNT. 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. 2017.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52, 2009. Agregado Miúdo- Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, ABNT, 2009, p.3.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45, 2006. Agregados- Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, ABNT, 2006, p.38.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248, 2003. Agregados- Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, ABNT, 2003, p.6.

- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM, ABNT NBR. 30: Fine Aggregate—Test Method for Water Absorption. Brazilian Association of Technical Standards—ABNT: Rio de Janeiro, Brazil, 2001.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR, ABNT. NBR 7211: Agregados para concreto-Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- [15] RILEM. **State-of-the-art report of the Rilem Technical Committee 225-SAP: Application of superabsorbent polymers (SAP) in concrete construction.** Mechtcherine, V. & Reinhardt, H.W. (Eds.). London: Ed. Springer, 2012.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, NBR. 11768—Aditivos para concreto de Cimento Portland-Requisitos. 2011.
- [17] Deutsches Institut für Normung. 18555-2: **Testing of mortars containing mineral binders, freshly mixed mortars containing aggregates of dense structure (heavy aggregates), determination of consistence, bulk density and air content.** DIN, Germany. 1982.
- [18] Gomes, O. F. M. **Processamento e Análise de Imagens Aplicados à Caracterização Automática de Materiais.** Dissertação apresentada ao Departamento de Ciência de Materiais e Metalurgia da PUC/Rio como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Metalúrgica, 2001.
- [19] Enríquez-León, A.; De Souza, T. D.; Aragão, F. T. S.; Braz, D.; Pereira, A. M. B.; Nogueira, L. P. Determination of the air void content of asphalt concrete mixtures using artificial intelligence techniques to segment micro-CT images. **International Journal of Pavement Engineering.** Available from: DOI:10.1080/10298436.2021.1931197. 2021.
- [20] Aboufoul, M.; Garcia, A. Factors affecting hydraulic conductivity of asphalt mixture. **Materials and Structures**, 50, 1-16, 2017.
- [21] Schindelin, J. Fiji. An Open-Source Platform for Biological-Image Analysis. **Nature Methods**, 9, 676-68, 2012.
- [22] Mattana, A. J.; Pereira, E.; Costa, M. M.M. Evaluation of Porosity In Mortar By X-Ray Microtomography (Micro-CT). As an additional tool for mercury intrusion porosimetry. **Iberoamerican Journal of Applied Computing**, v. 4, n. 1, 2014.
- [23] Promentilla, M. A. B.; Sugiyama, T. X-Ray Microtomography of Mortars Exposed to Freezing-Thawing Action. **Journal of Advanced Concrete Technology.** Vol. 8, No. 2, 97-111, 2010.
- [24] Legland, David; **Arganda-Carreras, Ignacio. Morpholibj User Manual.** Institut National de la Recherche Agronomique: Nantes, France, 2016.
- [25] Augusto, K.S.; Paciornik, S. Porosity characterization of iron ore pellets by X-ray microtomography. **Materials Research**, 21 (2), e2017062, 2017.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

**DESENVOLVIMENTO EM SOFTWARE DO FENÔMENO GOLPE DE ARÍETE EM PVC
APLICANDO O MÉTODO DAS CARACTERÍSTICAS**

LIMA, Maria Eduarda de Lucena¹; FERREIRA, Armando Traini²

¹ Instituto Federal de São Paulo, São Paulo, Brasil, maria.e@ifsp.edu.br, 0000-0002-3480-4811

² Instituto Federal de São Paulo, São Paulo, Brasil, traini@ifsp.edu.br

RESUMO

O termo aríete antigamente se referia a uma antiga máquina de guerra que era utilizada na idade média, constituída por um grande tronco de madeira com uma testa de ferro ou bronze, geralmente em formato de um carneiro, a força de um golpe de aríete, com ajuda de vários soldados, era capaz de romper muralhas, castelos e fortificações. Em razão da similaridade de função, em se tratando de fluídos, a grande variação de pressão originadas de grandes variações de vazões dentro de uma tubulação, podendo causar grandes danos, foi denominado Golpe de Aríete. Devido à grande variação de pressão causada pela variação de vazão podem ocorrer certas avarias como danos ao conduto, nos dispositivos instalados, rupturas de tubulações por sobre pressão e colapso de tubos devido ao vácuo. Em vista desses fatos, este trabalho tem como objetivo de desenvolver em uma planilha utilizando o Método das Características, para simular como o golpe de aríete influencia uma tubulação de PVC marrom, destinado a água fria, de forma a melhor entender o seu comportamento e se possível usar o modelo desenvolvido para promover soluções.

Palavras-chave: Golpe de aríete; PVC; Excel; Método das características.

ABSTRACT

The term battering ram formerly referred to an ancient war machine that was used in the Middle Ages, consisting of a large wooden trunk with an iron or bronze forehead, usually in the shape of a ram, the power of a water hammer, with the help of several soldiers, it was able to break through walls, castles and fortifications. Due to the similarity of function, in the case of fluids, the large variation in pressure caused by large variations in flow rates within a tube, which can cause great damage, was called water hammer. Due to the large pressure variation caused by the flow variation, certain damages can occur, such as damage to the conduit, in the installed devices, breakage of tubes due to overpressure and collapse of tubes due to vacuum. In view of these facts, this work aims to develop a spreadsheet using the Method of Characteristics, to simulate how a water hammer influences a brown PVC tube, destined for cold water, to better understand its behavior and possibly use the developed model to promote solutions.

Keywords: Water hammer; PVC; Excel; Method of characteristic.

1. INSTRUÇÕES GERAIS

O Golpe de Aríete acontece pela variação da pressão muito acima ou abaixo do funcionamento normal de tubulações por causa de mudanças muito rápidas de velocidade do líquido dentro da tubulação ocorridas por manobras para a regulagem da vazão. (Soares [1])

O Policloreto de Vinila, conhecido como PVC, devido sua estabilidade química possui as seguintes propriedades: o fato de não ser inflamável, sua vida útil longa, sua possibilidade de reciclagem e sua grande facilidade de instalação por soldagem o tornam no material mais utilizado para instalações de água fria no Brasil, existem os tubos brancos para esgoto e tubos marrons para abastecimento e distribuição de água. (Brandão [2])

Devido às grandes variações de pressão que podem ocorrer em tubulações amplamente utilizadas como PVC, importantes para simples ações do dia a dia, faz com que imprecisões em seus dimensionamentos acarretem, quando

superdimensionados, custos desnecessários, quando subdimensionado, rompimentos, estrangulamentos e ruídos nas tubulações que podem prejudicar o fornecimento de água. (Ferreira, Barbosa e Castro [3])

Sabendo da importância do estudo do golpe de aríete, mostra-se necessário desenvolver maneiras de simular o fenômeno para melhor resolvê-lo. O método de cálculo selecionado é o método das características, que consiste na transformação de equações diferenciais parciais em equações diferenciais ordinárias sendo duas dessas equações as características positiva e negativa dentro do domínio de tempo e espaço pré-determinados. (Simões, Schulz e Porto [4])

2. PREPARAÇÃO

Considerando o tipo de material utilizado na tubulação a metodologia aplicada é baseado no Modelo Elástico, em uma de suas abordagens, o método das características, tendo como partida a resolução de equações diferenciais com base na 2 Lei de Newton de conservação da massa e a Lei de Hooke, relacionando a elasticidade do conduto. O método possui uma resolução através de linguagem de códigos computacionais (Simões, Schulz e Porto [4])

Com o objetivo de traduzir essa linguagem para uma mais simples usada no programa Excel as equações diferenciais foram transformadas em equações ordinárias de acordo com o desenvolvimento apresentado por (Chaudhry [5]) resultando nas equações (1), (2), (3) e (4).

Em relação ao cálculo da celeridade foi utilizado o modelo de Wylie, Streeter, onde não só considera as características do fluido como também a do material e sua geometria, resultando a equação (5).

Para o fator de atrito, considerando que em um golpe de aríete o fluxo do líquido ocorre em um regime transitório, o melhor método de cálculo selecionado foi o de Swamee que também considera o número de Reynolds (7) e a rugosidade específica do material na equação (6).

Em seguida, o fator de atrito é aplicado na equação de perda de carga na (8) de Darcy-Weibach .

Para o cálculo da pressão no tempo e distância específicos da tubulação:

$$P_{t,d} = \frac{C_- + C_+}{2 \times C_a} \quad (1)$$

Para o cálculo da característica positiva:

$$C_+ = Q_0 + C_a \times P_{t-1,d-1} - f \times Q_0^2 \times \frac{t}{2 \times A_{int} \times D_{int}} \quad (2)$$

Para o cálculo da característica negativa:

$$C_- = Q_0 + C_a \times P_{t-1,d-1} - f \times (Q_0 \times 0,9)^2 \times \frac{t}{2 \times A_{int} \times D_{int}} \quad (3)$$

Para o cálculo de C_a :

$$C_a = \frac{g \times A_{int}}{a} \quad (4)$$

Para o cálculo da celeridade:

$$a = \left\{ \left(\frac{k}{p} \right) / \left[1 + \left(\frac{k \times D_{ext}}{E \times e} \right) \right] \right\}^{0,5} \quad (5)$$

Para o cálculo do fator de atrito da tubulação:

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9,5 \times \left[\ln \left(\frac{5,74}{Re^{0,9}} + \frac{\varepsilon}{3,7 \times D_{int}} \right) - \left(\frac{2500^6}{Re} \right) \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (6)$$

Para o cálculo do coeficiente de Reynolds:

$$Re = \frac{V \times D_{int}}{\nu} \quad (7)$$

Para o cálculo da perda de carga inicial:

$$\Delta H = f \times \frac{v^2}{2 \times g} \times \frac{L}{D_{int}} \quad (8)$$

Onde:

A_{int} = área interna da tubulação (m)

C- = característica positiva (s)

C+ = característica negativa (s)

Ca = (s)

a = celeridade (s)

k = coeficiente do material [--];

E = coeficiente de elasticidade (s)

Re = coeficiente de Reynolds [--];

ρ = coeficiente do líquido (s)

L = comprimento da tubulação (m)

Dext = diâmetro externo da tubulação (m)

Dint = diâmetro interno da tubulação (m)

e = espessura da tubulação (m)

f = fator de atrito (adimensional)

g = gravidade (m/s²)

ΔH = perda de carga (m)

$P_{t,d}$ = pressão (m.c.a)

$P_{t-1,d-1}$ = pressão anterior (m.c.a)

Q0 = vazão inicial (m³/s)

t = tempo (s)

ν = viscosidade do líquido (m²/s)

ϵ = rugosidade (m)

Para que a pesquisa tenha aplicação próxima a real foram utilizadas informações de tubulação utilizadas comercialmente, de acordo Tigre [6] e normas reguladoras do material ABNT [7] o PVC marrom é recomendado para instalações prediais residenciais, industriais e comerciais, podendo serem encontrados em tubos de comprimentos de 3 m e de 6m, com diâmetros de 20 mm, 25 mm, 32 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm 75 mm, 85 mm e 110 mm com espessuras respectivas de 1,5 mm, 1,7 mm, 2,1 mm, 2,4 mm, 3,0 mm, 3,3 mm, 4,2 mm, 4,7 mm, 6,1 mm e 110 mm com mais opções com as respectivas espessuras. A tubulação de PVC marrom suporta uma pressão de serviço de 75 m.c.a ou 7,5 Kgf/cm².

Além de informações sobre as dimensões dos condutos, é necessário considerar o módulo de elasticidade de um material, pois no caso estudado consideramos que a tubulação pode se deformar com a variação de pressão acima do recomendado nos catálogos técnicos. De acordo com a Tigre [6] o valor de módulo de elasticidade do PVC é entre 2,41 GPa e 4,14 GPa.

Os valores finais utilizados para cálculo podem ser encontrados no Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Valores de entrada de cálculo

| Variável | Valor | Unidade |
|--|----------------------|-------------------|
| Coefficiente do fluido | 2,03.10 ⁹ | N/m ² |
| Coefficiente de elasticidade do material | 2,14.10 ⁹ | N/m ² |
| Coefficiente do líquido | 1000 | Kg/m ³ |
| Comprimento da tubulação | 1 | m |

| | | |
|-------------------------|-------------|-------------------|
| Diâmetro da tubulação | 0,05 | m |
| Espessura da tubulação | 0,015 | m |
| Gravidade | 9,81 | m/s ² |
| Rugosidade | 0,000009 | m |
| Sobre pressão inicial | 20 | m.c.a |
| Trecho da tubulação | 0,10 | m |
| Variação de tempo total | 0,006753248 | s |
| Vazão inicial | 1 | m ³ /s |

3. RESULTADOS

A partir dos valores de entrada no Quadro 1 e das equações mencionadas anteriormente, foram obtidas a seguintes pressões para o material de PVC com o diâmetro de 50 mm e espessura de 1,5 mm expressas na Figura 1.

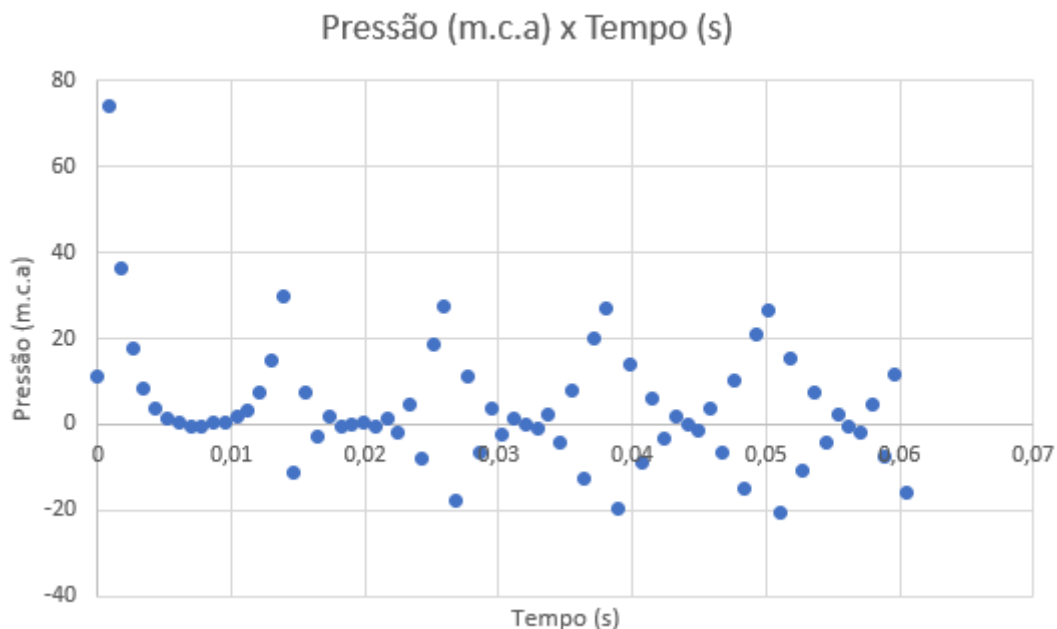


Figura 1 – Comportamento da pressão pelo tempo na tubulação de PVC.

Ao observar a Figura 1 vemos que a pressão se comporta de maneira similar a descrita por Chaudhry [5] no livro Applied Hydraulic Transients, onde há uma pressão adicional inicial de 11 m.c.a no caso, seguida por uma muito superior causada pelo súbito interrompimento do fluido no conduto, no caso da Figura 1 pressão máxima vale 73,85 m.c.a, e os valores seguintes são menores, a pressão se dissipando de maneira específica na tubulação de P.V.C em ondas, chegando a valores positivos menores que 40 m.c.a e valores negativos não previstos de até -20 m.c.a.

De acordo com Mattiello [8] os valores de pressão negativa podem ser justificados pela dimensão do conduto, a dimensão selecionada para estudo possui um diâmetro de 50 mm, quando o golpe de aríete ocorre dentro de uma tubulação pequena, não há espaço o suficiente para que a onda se dissipe por completo.

4. CONCLUSÕES

Golpes de aríetes são fenômenos ocorrentes podendo acarretar danos a tubulações, como no PVC muito utilizadas na distribuição hidráulica, se não forem previstas soluções ou dimensionados de maneira correta. A reprodução das condições de pressão na tubulação nem sempre são possíveis, assim modelos analíticos computacionais acessíveis são necessários.

Nesse modelo proposto de análise, foram consideradas equações com variáveis levando em conta as características do material PVC, como o a rugosidade, coeficiente de elasticidade e características geométricas, e do fluído, viscosidade e coeficiente, de maneira a adquirir resultados particulares finais do líquido sob o efeito do golpe de aríete na tubulação do material em específico.

Os valores finais de pressão possuíam um comportamento conhecido da variação de pressão, com um salto de pressão e diminuição nas subseqüentes representando a variação da mudança de direção repentina do líquido e sua dissipação com o passar do tempo afetando o material, apenas diferindo nos valores negativos justificado pela geometria da tubulação, podendo concluir que o modelo recriado no Excel representa com certa confiabilidade o golpe de aríete.

REFERÊNCIAS

- [1] SOARES, P. H. **Hidráulica Geral**. Juiz de Fora: [s.n.], 2012. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/HG_Te%C3%B3rica_Cap6.pdf>. Acesso em: 12 Dezembro 2019.
- [2] BRANDÃO, R. G. **Estudo de Viabilidade da Utilização de PVC**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000284.pdf>>. Acesso em: 12 Dezembro 2019.
- [3] FERREIRA, F. E. F. R.; BARBOSA, J. M. C.; CASTRO, M. A. H. D. **Modelagem computacional do golpe de aríete em condutos plásticos**. [S.l.]: [s.n.], 2015. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_202_n_1636.pdf>. Acesso em: 12 Dezembro 2019.
- [4] SIMÕES, André Luiz Andrade; SCHULZ, Harry Edmar; PORTO, Rodrigo de Melo. **Métodos Computacionais em Hidráulica**. [S. l.]: [s. n.], 2017. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/23994/1/M%c3%a9todosComputacionaisEmHidraulica_%20Sim%c3%b5es.Schulz.Porto.pdf. Acesso em: 14 jul. 2021.
- [5] CHAUDHRY, Ph.D. M. Hanif. **Applied Hydraulic Transients**. [S. l.]: [s. n.], 1979.
- [6] TIGRE. **Água Fria - Predial: Orientações para instalações de Água Fria**. [S. l.], [2015 e 2020]. Disponível em: <https://www.tigre.com.br/catalogos-tecnicos>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5648: Tubos e conexões de PVC-U com junta soldável para sistemas prediais de água fria — Requisitos**. Rio de Janeiro. 2018.
- [8] MATTIELLO, Júlia Zucchetti. **Modelo Inercial Elástico: Equacionamento Fundamental**. In: MATTIELLO, Júlia Zucchetti. Análise de ocorrência de transientes hidráulicos em um sistema de adução de água através do modelo de Mike Urban. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2017. f. 100.
- [9] ESTEVES, C. S. **Estudo do Transiente Hidráulico em Tubulações de PVC**. Niterói: [s.n.], 2018. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/7036/1/CAIO%20SP%C3%93SITO%20ESTEVES%2011.37.057.pdf>>. Acesso em: 12 Dezembro 2019.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

ESCRITA CRIATIVA NO ENSINO DE VEDAÇÕES VERTICAIS

FONTENELLE, Maria Aridenise Macena¹; SOUZA, Elói Romão dos Santos²

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Brasil, aridenise.macena@gmail.com, 0000-0002-4213-4731

² Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Brasil, eloirsouza9@gmail.com

RESUMO

Na educação em engenharia predominam os currículos tradicionais, a fraca interdisciplinaridade e a integração tardia, quando presente, entre os diferentes componentes curriculares, entre a teoria e a prática e entre o mundo escolar e o mundo profissional. No entanto, hoje, o ambiente profissional necessita que o engenheiro detenha tanto de conhecimentos técnicos quanto de habilidades transversais, que devem ser desenvolvidas no período da graduação, para que assim os estudantes ingressem na profissão com tais habilidades, como trabalho em equipe e comunicação oral e escrita. Este artigo apresenta as estratégias de escrita criativa utilizadas pelos estudantes da disciplina de Tecnologia das Edificações no curso de engenharia civil de uma Universidade nordestina brasileira para apresentar a aprendizagem na referida disciplina. Foram escritas sínteses em forma de versos pelos discentes a partir da reflexão de leitura de documentos na área do conteúdo da disciplina e do entendimento dos vídeos assistidos por eles sobre vedações verticais. Os resultados das poesias escritas demonstraram um bom rendimento da turma para além do conhecimento técnico à ativação do sensível. Os estudantes consideraram que a escrita criativa trouxe mais leveza para o processo de ensino e aprendizagem em Tecnologia das edificações.

Palavras-chave: poesia; aprendizagem; tecnologia das edificações; paredes.

ABSTRACT

In engineering education, traditional curricula, weak interdisciplinarity and late integration, when present, predominate between the different curricular components, between theory and practice and between the school world and the professional world. However, today, the professional environment requires that the engineer has both technical knowledge and transversal skills, which must be developed during the graduation period, so that students enter the profession with such skills, such as teamwork and oral communication, and writing. This article presents the creative writing strategies used by students of the Building Technology discipline in the civil engineering course of a Northeastern Brazilian University to present the learning in that discipline. Syntheses were written in the form of verses by the students based on the reflection of reading documents in the area of discipline content and the understanding of the videos watched by them about vertical fences. The results of the written poetry showed a good performance of the class beyond the technical knowledge to the activation of the sensitive. Students considered that creative writing brought more lightness to the teaching and learning process in Building Technology.

Keywords: poetry; learning; building technology; walls.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na educação em engenharia predominam os currículos tradicionais, a fraca interdisciplinaridade e a integração tardia, quando presente, entre os diferentes componentes curriculares, entre a teoria e a prática e entre o mundo escolar e o mundo profissional. A grosso modo, esses currículos ainda são organizados sequencialmente, em que as disciplinas das ciências básicas são seguidas pelas ciências aplicadas e, por último, pelas práticas, por exemplo os estágios. Há comumente grande número de disciplinas colocadas nos currículos, de forma linear e compartimentada. (Ribeiro, 2007).

Oliveira et al. (2013) afirmam que diversas escolas de engenharia utilizam o método tradicional de ensino, composto somente de uma metodologia baseada na transmissão de conteúdos em aulas expositivas.

Para Lázaro (2018) a educação escolar, até mesmo a do Ensino Superior, apresenta de alguma maneira resquícios do modelo tradicional de ensino como: a disposição das cadeiras em filas, silêncio, predominância do uso do quadro e do giz ou pincel para quadro, e principalmente a reprodução dos conteúdos em aulas presenciais e expositivas. Levando a relação do professor com o aluno a acontecer de um modo verticalizado, em que o professor é aquele que detém todo o conhecimento e o aluno é aquele sujeito passivo, que memoriza os conhecimentos repassados e apenas os repete. O que leva a uma estrutura organizacional do ensino à incompatibilidade com as demandas atuais da sala de aula, e a procura de novas metodologias para o ensino-aprendizagem.

No entanto, hoje, o ambiente profissional necessita que o engenheiro detenha tanto de conhecimentos técnicos quanto de habilidades transversais, que devem ser desenvolvidas no período da graduação, para que assim os estudantes ingressem na profissão com tais habilidades, como trabalho em equipe e comunicação oral e escrita.

O ambiente educacional tem também sofrido constantes alterações nas últimas décadas, promovendo o surgimento de diversas iniciativas que visam apoiar e fomentar ações para a melhoria da qualidade da educação, como forma de modificar o cenário educacional, tanto nas práticas docentes quanto no desempenho dos estudantes.

Estratégias inovadoras, contextualizadas e que utilizem recursos que ampliem as perspectivas da aprendizagem, podem tornar-se opções efetivas na melhoria do processo de ensino-aprendizagem.

Para que ocorra a aprendizagem significativa dos conteúdos ministrados são necessárias mudanças na postura de discentes e docentes. Os discentes devem estar abertos para a obtenção de novos conhecimentos, enquanto que os docentes necessitam atualizar suas metodologias de ensino, optando por alternativas didáticas que favoreçam a construção da aprendizagem de forma significativa, na qual o estudante utiliza conhecimentos prévios para a construção de novos conhecimentos.

Este artigo apresenta as estratégias de escrita criativa utilizadas pelos estudantes da disciplina de Gestão e Produção das Construções no curso de engenharia civil de uma Universidade nordestina para apresentar o resultado da aprendizagem na referida disciplina. Foram escritas sínteses em forma de frases e versos pelos discentes a partir da leitura de documentos na área do conteúdo da disciplina e do entendimento dos vídeos assistidos por eles.

2. ABORDAGEM CONCEITUAL

As metodologias ativas de ensino não são novas, mas vêm ganhando maior espaço com o avanço dos estudos na área da psicologia da aprendizagem. Pensadores clássicos da educação, como Freire, Dewey, Piaget e Rogers, já defendiam a tese de que o modelo tradicional de ensino não parecia ser o mais eficaz.

Há diversas metodologias consideradas ativas, mas todas têm em comum a crença de que o aluno é o protagonista do processo de aprendizagem e que ele só aprenderá algo se experimentar na prática.

A promoção da aprendizagem por meio das metodologias ativas faz uso de diversas estratégias, tais como: Instrução por Pares (*Peer Instruction - PI*), Aprendizagem por Equipes (*Team-Based Learning - TBL*), Escrita por Meio das Disciplinas (*Writing Across the Curriculum - WAC*), Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project Based Learning - PBL*), dentre outras (SCHMITZ, 2016).

Numa revisão integrativa sobre metodologias ativas de ensino-aprendizagem realizada por PAIVA et al. (2016) foi sintetizado diversos tipos delas, como mostra o quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de metodologias ativas de ensino-aprendizagem

| Tipos | Referências |
|---|---|
| Aprendizagem baseada em problemas | Gomes et al. (2010) e Marin et al. (2010) |
| Pedagogia da problematização | Marin et al. (2010) e Paranhos e Mendes (2010) |
| Problematização: Arco de Margueres | Marin et al. (2010), Pedrosa et al. (2011), Gomes et al. (2010) e Prado et al. (2012) |
| Estudos de caso | Gomes et al. (2010), Pedrosa et al. (2011) e Limberger (2013) |
| Grupos reflexivos e grupos interdisciplinares | Gomes et al. (2010) e Carraro et al. (2011) |

| | |
|--|--|
| Grupos de tutoria e grupos de facilitação | |
| Exercícios em grupo | Pedrosa et al. (2011) |
| Seminários | Gomes et al. (2010) e Pedrosa et al. (2011) |
| Relato crítico de experiência | Gomes et al. (2010) |
| Mesas-redondas | Gomes et al. (2010) |
| Socialização | Carraro et al. (2011) |
| Plenárias | Pedrosa et al. (2011) |
| Exposições dialogadas | Pedrosa et al. (2011) |
| Debates temáticos | Pedrosa et al. (2011) |
| Leitura comentada | Pedrosa et al. (2011) |
| Oficinas | Pedrosa et al. (2011) |
| Apresentação de filmes | Pedrosa et al. (2011) |
| Interpretações musicais | Pedrosa et al. (2011) |
| Dramatizações | Pedrosa et al. (2011) |
| Dinâmicas lúdico-pedagógicas | Maia et al. (2012) |
| Portfólio | Gomes et al. (2010) e Paranhos e Mendes (2010) |
| Avaliação oral (autoavaliação, do grupo, dos professores e do ciclo) | Marin et al. (2010) |

Fonte: PAIVA et al. (2016).

Outras estratégias de metodologias de ensino ativas apresentadas na literatura são aprendizagem baseada em projetos, instrução pelos pares, círculo de cultura; sala de aula invertida e aula-laboratório.

No quadro 2, a seguir, são sintetizadas práticas educacionais de aprendizagens ativa realizadas por FONTENELLE (2019) a, FONTENELLE et al. (2019) b, FONTENELLE (2020) a e FONTENELLE et al. (2020) b em curso de Engenharia Civil no nordeste do Brasil tendo como base a pedagogia Waldorf, que é uma pedagogia que utiliza a arte para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem.

Quadro 2 - Práticas educacionais de aprendizagens ativas em curso de engenharia civil

| Disciplina | Práticas educacionais de aprendizagens ativas |
|--|---|
| Tecnologia das construções | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pintura de aquarelas sobre visitas às obras ▪ Produção de Cordel sobre avaliação de três canteiros de obras ▪ Produção de vídeo sobre segurança no canteiro de obras ▪ Produção de poesias sobre tecnologias da construção civil ▪ Aula prática de montagem do banheiro de plástico reciclado |
| Orçamento planejamento e Controle de obras | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Produção de cordel sobre planejamento do tempo no canteiro de obras ▪ Produção de vídeo sobre orçamento de obras |
| Gestão e Produção das construções | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pintura de aquarelas sobre síntese de conteúdo ▪ Produção de paródias sobre construções inteligentes ▪ Produção paródia sobre BIM (Modelagem da Informação da Construção) ▪ Produção poesia sobre filosofia <i>Lean</i> ▪ Produção vídeo sobre gerenciamento da construção |

Fonte: FONTENELLE (2019)a, FONTENELLE et al.(2019)b, FONTENELLE (2020)a e FONTENELLE et al.(2020)b.

Há diversos métodos de ensino-aprendizagem que podem ser utilizados para promover a melhoria no processo de ensino e aprendizagem. De certo modo, as formas de aprendizagem ativa e/ou colaborativa, centradas no processo e/ou estudantes, e os métodos de ensino construtivistas atendem a esse propósito (ESCRIVÃO FILHO; RIBEIRO, 2009).

3. METODOLOGIA

Tecnologia das Edificações é uma disciplina obrigatória do curso de Engenharia Civil na universidade em estudo. No conteúdo programático é abordado os processos construtivos de uma obra desde o projeto até a pintura.

As principais estratégias de ensino utilizadas são: Aulas expositivas com discussão de conceitos e estudos de caso; Leitura e interpretação de textos; Seminários dos alunos para apresentação de artigo científico e de estudos de caso e/ou trabalhos práticos realizados por eles, oficinas de escrita criativa e visitas técnicas.

No período da pandemia foram introduzidas *webinar* e vídeos sobre vedações verticais sendo solicitados que as sínteses do entendimento desses documentos fossem realizadas em forma de verso pelos estudantes.

4. RESULTADOS DA EXPERIÊNCIA

Cada dupla de discente selecionava e assistia um vídeo sobre tecnologia das construções. A síntese era apresentada em forma versos, como é mostrado nas figuras 1 a 4, a seguir.

Figura 1 – Escrita criativa da Dupla 1

Marcação de alvenaria

*A pedido de Aridenise venho lhes apresentar
dicas muito importantes que não se pode faltar
a marcação de alvenaria tarefa importante a se executar
temos que ter em mãos projeto com a paginação da alvenaria fornecido pelo arquiteto*

*Cabe ao executante
com ferramentas em mãos
pegar pontos importantes
para as linhas poder traçar
e começar a trabalhar*

*Quando for iniciar
é importante se atentar
pois distancia de marcação e esquadro
não pode ultrapassar
são apenas zero vírgula cinco centímetros
que se pode tolerar*

*E na primeira fiada
você deve observar
se há nivelamento e
porta para entrar*

*depois de tudo feito
você não se preocupar
pois a alvenaria vai subir
sem precisar se reparar
e as portas encaixar
sem te dar nenhum trabalho
por não ter usado atalho*

Figura 2 – Escrita criativa da Dupla 2

Alvenaria estrutural

*Bom dia, minha gente
Hoje eu vou lhes falar
Sobre a alvenaria estrutural
Um tipo de estrutura que chegou para ficar*

*Mas antes precisamos
Falar da situação
De um Brasil extremamente complicado
Onde muita gente não tem habitação*

*Sendo assim, como engenheiros
Necessitamos pensar
De maneiras modernas e econômicas
Para o povo brasileiro morar Conforto, durabilidade e variabilidade
Devemos garantir sim
E acredite fielmente
A alvenaria estrutural fornece isso sim*

*Não podemos esquecer das suas recomendações
NBR ABNT 16868 utilizaremos no projeto das nossas construções
O fabricante também pode ficar calmo
Pois ele também será atendido
E em suas produções NBR ABNT 6136 deve ser seguido*

*Sabendo das normas
Agora vamos para a análise
E engenheiro tome cuidado
Pois diferente do concreto armado*

*Além disso os detalhes construtivos
Devem estar presentes
Desenhos das vergas, contravergas e paginação
Não podem estar ausentes*

*Para a sua alvenaria
Também deve-se atestar
O mínimo de 4,5 MPa de resistência
É necessário para modular
Quanto a argamassa
Não podemos esquecer
Ela uniformiza as tensões nos blocos
Os impedindo de ceder*

*Solidários como amigos
É o trabalho entre bloco e seu ligante
Garantindo a função do conjunto
E mantendo a estrutura elegante*

*Mas se atente construtor
Somete a resistência do bloco não é importante
Preste atenção nos agregados da sua argamassa*



Se não o colapso será constante

*Sobre as vigas nas estruturas
Também devemos entender
Ao invés de fôrmas para as vigas
Blocos canaletas podemos escolher*

*Para alvenaria execução da alvenaria
Precisamos ficar cientes
Prumos e alturas das paredes corretas
São características boas para uma alvenaria resistente*

*Quanto a hoje é isso
Que nós queremos falar
Introduzimos um pouco sobre a alvenaria estrutural
E vocês continuem a estudar*

Figura 3 – Escrita criativa da Dupla 3

Construção Modular

*Na era da impressão 3D
E da realidade aumentada
A construção civil
Não pode ficar desligada*

*Nessa era, muitos edifícios vão crescendo
Como o Lego de uma criança
A construção vai se desenvolvendo
Esse desenvolvimento, se trata da construção modular
Ela evita desperdícios
E diminui a mão de obra contratada
Com obras mais aceleradas
Se tem a garantia de qualidade e eficácia*

*E ela é até apressadinha
Quando ver a construção tradicional
Ela olha e diz, que tadinha.
Só preciso de 1/3 de tempo
Pra fazer o mesmo que essa bichinha*

*A construção modular
Tem amplo campo de aplicação
Vai do simples ao complexo
Só por causa da repetição
Dos ambientes já existentes
Nesse ramo da construção*

*Cada componente precisa ser estudado
Pois devido ao padrões rigorosos
Tudo tem que ser caprichado
Para que cada pecinha
No seu devido lugar, seja encaixado*



*Ela, é um romance novo
Só tem vantagens
Sua montagem é rápida
E evita condições desfavoráveis
Além de trazer uma economia pra o bolso
Sua flexibilidade faz construtor querer ela de novo*

Qualidade, durabilidade e desempenho Já estou me cansando de falar com tanto empenho

*Mas ela não gera ruído e nem poeira
Por isso eu me amarro
Como diz o cearense, nessa construção pauleira
Me desculpem o teor da minha fala
Mas uma obra sustentável
Nos tempos de hoje, está fazendo falta
Então um método que pode ajudar o meio ambiente
Merece cada elogio existente*

*Ela tem menor custo de produção e manutenção
Coisa muito boa, para quem acompanha a inflação
Mas sem deixar de dar uma crítica
Eu vou finalizar
Só sendo um doido para não gostar
Da construção modular.*

Figura 4 – Escrita criativa da Dupla 4

Paredes em chapas de gesso acartonado.

*São tantos tipos de paredes
Nem sei por onde começar
Parede de tijolos cerâmicos
É o que mais se ouve falar
Vou apresentar sem enrolado
A parede de gesso acartonado
Por favor tente me acompanhar.*

*A chapa do tipo standard
É a padrão para os brasileiros
Em uma parede sem exigências
Pode usa-la sem rodeios
É uma parede resistente
Mas para não ficar descontente
Não é bom usar em banheiros.*

*Para esses ambientes
Repletos de umidade
Escolha outra chapa
Que tenha especificidade
Uma resistente a água
Para evitar sentir mágoa
Use uma hidrófuga de qualidade.*

*Para a sua instalação
De acessórios vai precisar*



*Parafusos e papel reforçado
Para as chapas poder fixar
Na massa, vai gesso e aditivo
Para o isolamento, a lã de vidro
Faz o acústico melhorar.*

*Ferramentas são usadas
Para facilitar a execução
O estilete corta a placa
E a parafusadeira faz a fixação
Para não perder o rumo
O uso níveis, linhas e prumo
É sempre a melhor solução.*

*Para a montagem das guias
Primeiro faz-se a marcação
Marcando o piso e o teto
E a referência de todos os vãos
Fixe bem os montantes
Não pode ser muito distante
Sempre atento a dimensão.*

*O comprimento das chapas
Devem ser 1cm abaixo do pé direito
Adotar 30cm entre os parafusos
Para ficar tudo bem feito
Tenha uma atenção milimétrica
Com a instalação hidráulica e elétrica
Para o morador ficar satisfeito.*

*O tratamento das juntas
É feito com rejuntamento
Com uso da desempenadeira
Realize o acabamento
Aguarde em média 6 horas
Mas não fique fazendo hora
Tem que ter comprometimento.*

*Ao fixar os marcos de portas
Cuidado para não fazer besteira
São fixadas aos montantes
Os marcos metálicos ou de madeira
A parte interna do montante
Recebe reforço num instante
Para não sofrer com quebradeira.*

*Quando for suspender peças
Os limites de cargas você deve respeitar
O coeficiente de segurança é de 1/3
Do que o fabricante determinar
Se precisar e mais resistência
Use reforços com frequência
E nada de improvisar.*

Quanto a produção das chapas

*Por um controle na origem deve passar
A montagem deve atender
O que o fabricante recomendar
Corrigindo o prumo e irregularidade
O foco é sempre a qualidade
Devemos sempre fiscalizar.*

A escrita criativa sobre os estudos realizados na área de Tecnologia das edificações do curso de engenharia civil da Universidade pública em Mossoró-RN Brasil sintetizadas neste texto evidenciou quanto os discentes se identificaram com o ensino de engenharia através das artes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como observador da atividade artística realizada pelos discentes, o docente concorda com Steiner quando afirma que esse tipo de prática proporciona sentido para compreender também com o intelecto e de permear também como o senso de dever aquilo que o indivíduo aprendeu a ver na arte como o belo e o humano puramente livre.

Considera-se que a prática da escrita criativa deveria ser mais comum no meio acadêmicos afim de unir a abstração com a sensibilidade humana onde há grande potencial inimagináveis que ainda podem ser desenvolvidos.

As produções técnicas e artísticas dos estudantes da disciplina de Tecnologia das Edificações do curso de Engenharia Civil da UFERSA mostram que a sensibilidade pode ser ativada.

AGRADECIMENTOS

Aos discentes participantes das oficinas de escrita criativa.

REFERÊNCIAS

- [1] RIBEIRO, L. R. C. **Aprendizagem Baseada em Problemas – PBL: uma experiência no ensino superior**. São Carlos: EDUFSCar, 2007.
- [2] OLIVEIRA, V. F. et al. Desafios da educação em engenharia: Formação em Engenharia, Capacitação Docente, Experiências Metodológicas e Proposições. In: **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, 2012. Gramado, 2013.
- [3] LÁZARO, A. C. et. al. Metodologias ativas no ensino superior: o papel do docente no ensino presencial. In: **Congresso Internacional de Educação e Tecnologias e Encontro de Pesquisadores em Educação a distância**, 2018, São Carlos. **Anais**. São Carlos, 2018.
- [4] SCHMITZ, E. X. da S. **Sala de Aula Invertida: uma abordagem para combinar metodologias ativas e engajar alunos no processo de ensino-aprendizagem**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Educacional em redes. Santa Maria, RS: 2016.
- [5] PAIVA, M. R. F., PARENTE, J. R. F., BRANDÃO, I. R., QUEIROZ, A. H. B. **Metodologias ativas de ensino-aprendizagem: revisão integrativa**. In: SANARE, Sobral - V.15 n.02, p.145-153, Jun./Dez. - 2016 – 145.
- [6] FONTENELLE, M. A. M.; MARTINS, Thaís Russiely. **Aula prática de montagem de uma unidade sanitária de plástico reciclado-relato de experiência**. In: Brazilian Journal of Development, v. 5, p. 193, 2019.(a)
- [7] FONTENELLE, M. A. M et al. **Literatura de cordel como estratégia de ensino e aprendizagem da avaliação de gestão e produção de canteiro de obras**. In: / LIMA, Tamires Feitosa de; FIGUEIREDO, Chiara Lubich Medeiros de;

MITROS, Verônica Maria da Silva; OLIVEIRA, Virgílio Albuquerque de (org.). (Org.). Abordagens metodológicas não convencionais em pesquisa [livro eletrônico]. 1ed. Maringá -Pr: Editora Booknando, 2019, v. 1, p. 14-24.(b)

[8] FONTENELLE, M. A. M. **A arte de engenheirar - relato de experiência.** TULLIO, Franciele Braga Machado. (Org.). In: Força, crescimento e qualidade da engenharia civil no Brasil. 1ed. Ponta Grossa PR: Atena Editora, 2020, v. 1, p. 188-200.(a)

[9] FONTENELLE, M. A. M et al. **A arte de engenheirar no período da pandemia de covid-19.** HOLZMANN, Henrique Ajuz e DALLAMUTA, João. (Org.). In: Engenharias: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar 2. 1ed. Ponta Grossa - PR: Atena, 2020, v. 2, p. 254-264(b).

[10] ESCRIVÃO FILHO, E.; RIBEIRO, L. R. de C. **Aprendendo com PBL – aprendizagem baseada em problemas: relato de uma experiência em cursos de engenharia da eesc-usp.** Revista Minerva – Pesquisa & Tecnologia, v. 06, n. 1, p. 23-30, 2009.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

USO DE ADITIVO SUPER PLASTIFICANTE PARA GANHO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA EM TRAÇO DE CONCRETO BOMBEADO DE 25 MPa

CEDRO, George Lucas¹; TEIXEIRA, Karla²

¹ UNINTA, Sobral, Brasil, lucascedro.eng@gmail.com 1, 0000-0001-8279-2387

² UNINTA, Sobral, Brasil, karlarayne.kr.kr@gmail.com 2, 0000-0003-4385-3575

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar um método de aumento de resistência mecânica em um traço de concreto convencional de 25 MPa, aplicado em peças estruturais de concreto armado, utilizando uma redução do fator água/cimento para provocar aumento da resistência. Esse fator é inversamente proporcional à resistência mecânica no cálculo do traço do concreto, característica comum a diversos métodos de cálculo, e com sua redução se espera um aumento da resistência mecânica e, consequentemente, perda de trabalhabilidade do concreto em estado fresco, contornada pela adição do aditivo superplastificante. Foi realizado um estudo experimental que levou em consideração o tempo de pega do concreto, trabalhabilidade e resistência mecânica a compressão axial aos vinte e oito dias de cura. Esse experimento foi conduzido no laboratório da concreteira ConcretoMac, em Sobral-CE. Para manipular o traço em uso na concreteira seguiram-se as normas ABNT NBR 7212/2012, NBR 5739 (2018) e NBR 12655 (2015), vigentes no Brasil.

Palavras-chave: concreto; fator água/cimento; trabalhabilidade; resistência mecânica.

ABSTRACT

This study aims to analyze a method of increasing mechanical strength in a conventional concrete mix of 25 MPa, applied to structural pieces of reinforced concrete, using a reduction in the water/cement factor to increase the strength. This factor is inversely proportional to the mechanical strength in the calculation of the concrete mix, a characteristic common to several calculation methods, and with its reduction, an increase in mechanical strength is expected and, consequently, a loss of workability of the concrete in fresh state, circumvented by the addition of the superplasticizer additive. An experimental study was carried out that took into account the setting time of the concrete, workability and mechanical strength to axial compression at twenty-eight days of curing. This experiment was conducted in the laboratory of the concrete company ConcretoMac, in Sobral-CE. To manipulate the trace in use in the concrete plant, the ABNT NBR 7212/2012, NBR 5739 (2018) and NBR 12655 (2015) standards in force in Brazil were followed.

Keywords: concrete; water/cement factor; workability; mechanical resistance.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho trata-se de um estudo experimental realizado para analisar os aspectos gerais derivados das mudanças ocorridas no traço de concreto convencional de 25 MPa, comparando o ganho de resistência à compressão axial, bem como o custo-benefício devido a introdução do aditivo superplastificante, aliado ao poli funcional, para controlar a pega, no traço calculado através do método IBRACON. Esse método tem como variante principal para determinar a resistência do concreto estrutural o fator água/cimento.

Assim ocorreu com o método de dosagem IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), proposto inicialmente por Ary Frederico Torres (1927), Simão Prizskulnik (1977) e Carlos Tango (1986); com o método de dosagem INT (Instituto Nacional de Tecnologia), no Rio de Janeiro, proposto por Fernando Luiz Lobo Carneiro (1937); com o método de dosagem ITERS (Instituto Tecnológico do Estado do Rio Grande

do Sul), proposto por Eládio Petrucci (1985); com o método da ABCP, proposto, inicialmente, por Ary Torres e Carlos Rosman (1956), que atualmente adota uma adaptação do método americano do ACI. Vallete (1949), De Larrard (1990), Bernardo F. Tutikian, Paulo Helene & Terzian (1992), Alaejos y Cánovas (1994), Isaia (1995), Berenice Carbonari (1996), Vitervo O'Reilly (1998), Aitein (1998) e Tutikian (2007), entre outros, também são métodos de dosagem conhecidos e utilizados no Brasil. Apesar de os métodos de dosagem diferirem entre si, certas atividades são comuns a todos, como, por exemplo, o cálculo da resistência média de dosagem, a correlação da resistência à compressão com a relação água/cimento para determinado tipo e classe de cimento, sempre e quando um estudo de dosagem tiver por objetivo a obtenção de uma resistência especificada, sem descuidar da economia e da sustentabilidade que sempre devem nortear um estudo de dosagem contemporâneo. (HELENE et al., 2010, p.1 e 2).

Uma análise de custos será feita utilizando um método comparativo entre o custo do cimento Portland que se pretende poupar e o custo do aditivo superplastificante que viabilizará diminuir a concentração de cimento, já que o trabalho busca potencializar o efeito aglomerante do mesmo, sendo necessária menor quantidade para chegar na resistência de cálculo de 25 MPa do traço analisado. Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado o método de pesquisa experimental com abordagem quali-quantitativa.

Para tanto, foi feita uma revisão bibliográfica a nível de orientação sobre a tese e sobre a normalização dos procedimentos a serem seguidos no experimento laboratorial. Seguiu-se com a escolha do traço de 25 MPa em uso na concreteira, por esse ser o mais comercializado. A seleção dos materiais advindos de amostragens colhidas nos depósitos de insumos: o agregado graúdo; pedra granítica, advindo do britador próprio da empresa, com jazida na cidade de Sobral-CE, bairro do Sumaré; o agregado miúdo, areia lavada de rio, advindo das margens do rio Acaraú colhida na altura do distrito do Bonfim, também na cidade de Sobral-CE. O aglomerante escolhido foi o disponível na empresa, o Cimento Poty, CPII-E-40 da fabricante Votorantim. O aditivo polifuncional foi o Masterpozzolith 210 da fabricante alemã Basf, o superplastificante foi o Glenium 51 também de Basf e a água utilizada advinda diretamente da unidade de tratamento ETA Sumaré, administrada pelo SAAE de Sobral.

Após a realização do experimento foi feita uma análise do comportamento dos traços devido às modificações com a introdução do aditivo superplastificante nas diversas concentrações testadas, como também uma breve análise econômica devido às mesmas.

2. METODOLOGIA

Diante de estudos realizados em traços de concreto auto adensável, foi observado que ao adicionar o aditivo superplastificante no traço de concreto, que antes apresentava índice de consistência de um concreto convencional, abatimentos de tronco de cone de concreto entre oito e doze centímetros, atingia índices que indicavam consistência e abatimentos muito superiores, tão expressivos que passavam a classificar a fluidez de acordo com o espalhamento desse concreto, medidos através do espalhamento do cone de concreto, como citado na NBR 7212-2012 no item 5.2.7.

A partir daí o desafio passa a ser a consistência e trabalhabilidade, pois uma simples redução do fator água/cimento implica em usar menos água mantendo a quantidade de cimento e agregados, ou seja, seria obtido um concreto mais seco, utilizado comumente em peças de concreto extrusado ou em situações de preenchimento, como contrapisos e ajustes de nível, por apresentar aspecto grosseiro em estado seco e baixo nível de acabamento.

A proposta é incluir o uso do aditivo superplastificante no traço do concreto convencional para proporcionar uma maior trabalhabilidade, o que poderia ocasionar outro problema observado em alguns traços de concreto auto adensável, que seria a redução no tempo de pega, período que deve ser respeitado como limite para entrega, por parte da concreteira e aplicação, por parte dos construtores pois após tal período, as partículas do concreto começam a se ligar quimicamente, e para que essa ligação ocorra com sucesso o concreto fresco deve estar aplicado e adensado.

Dessa forma o método da introdução do aditivo superplastificante no traço de concreto convencional de 25 MPa para ganho de resistência mecânica só será viável, do ponto de vista operacional, se o tempo de pega do concreto respeitar os limites da norma NBR 12655/2015, além de todos os demais parâmetros exigidos como resistência à compressão, consistência e trabalhabilidade para bombeamento. Esses parâmetros foram obtidos através dos experimentos que foram realizados no laboratório da empresa ConcretoMac, com sede na cidade de Sobral, estado do Ceará.

A balança digital, mostrada na Figura I, foi utilizada para pesagem dos insumos, tem capacidade máxima de 30 Kg e sensibilidade de 0,005 KG, pois os mesmos se encontram dispostos, na carta traço utilizada, em quilograma.



Figura I - Balança Digital Utilizada.
Fonte: Própria (2020).

Sacos plásticos, mostrados na Figura II, utilizados na coleta e armazenamento dos insumos.



Figura II – Sacos Plásticos Utilizados.
Fonte: Própria (2020).

Betoneira elétrica de 60 litros (Figura III) utilizada para mistura de todos os insumos responsável por uma mistura final mais homogênea e eficaz.



Figura III – Betoneira Utilizada.
Fonte: Própria (2020).

Para realização do Slump Test foi utilizado o kit apresentado na Figura IV e trena metálica, utilizados para classificação da trabalhabilidade e consistência do concreto antes do bombeamento, essa classificação é importante para não haver problemas de bombeamento, o que interromperia a concretagem por tempo indeterminado, além de facilitar o espalhamento do concreto fresco pelos operários.



Figura IV – Kit Slump Teste Utilizado.
Fonte: Própria (2020).

Utilizando o traço de concreto convencional de 25 MPA, mantendo suas proporções de agregados e cimento, modificando a concentração de água, na manipulação do Fator Água/Cimento, modificando também a concentração de aditivo polifuncional, além da introdução do aditivo superplastificante, de acordo com os valores da Tabela I, onde a primeira coluna corresponde aos insumos, seguida da coluna onde se encontra os valores do traço original nas quantidades calculadas para 1m³, depois tem-se os traços calculados com suas devidas modificações para uma quantidade amostral de 15 litros, onde os parâmetros modificados se encontram em negrito.

| | Para 1 m ³ | Para/ 15 litros | | | | | |
|-------------------|-----------------------|-----------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| | Traço Original | Teste 1 | Testes 2 | Teste 3 | Teste 4 | Teste 5 | Teste 6 |
| Data | -- | 23/11/2019 | 23/11/201 | 25/11/2019 | 02/12/2019 | 09/12/2019 | 09/12/2019 |
| Cimento(Kg) | 291 | 4,36 | 4,36 | 4,36 | 4,36 | 4,36 | 4,36 |
| Brita 0(Kg) | 218 | 3,27 | 3,27 | 3,27 | 3,27 | 3,27 | 3,27 |
| Brita 1(Kg) | 744 | 11,16 | 11,16 | 11,16 | 11,16 | 11,16 | 11,16 |
| Areia(Kg) | 853 | 12,79 | 12,79 | 12,79 | 12,79 | 12,79 | 12,79 |
| Água(Kg) | 189 | 2,84 | 2,18 | 2,67 | 2,4 | 2,4 | 2,4 |
| Aditivo Poli(Kg) | 2,32 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,044 | 0,035 | 0,035 |
| Aditivo Super(Kg) | 0,00 | 0,00 | 0,022 | 0,035 | 0,044 | 0,044 | 0,044 |
| A/C | 0,65 | 0,73 | 0,56 | 0,67 | 0,58 | 0,60 | 0,60 |
| Umidade(%) | 0% | 3% | 2% | 2% | 1% | 2% | 2% |

Tabela I - Modificações feitas em cada Teste.

Fonte: Própria (2020).

O Teste 1, mostrado na Tabela I acima, é a própria reprodução do traço original de 25MPa utilizado na indústria processadora de concreto, recalculado para a quantidade amostral de concreto utilizada no experimento. Cada teste foi realizado na data especificada na tabela I, seguindo rigorosamente o roteiro apresentado a seguir e os parâmetros modificados em cada teste se encontram destacados em vermelho.

Primeiro é realizado o teste de umidade da areia e correção da quantidade de água do traço. Depois é feita uma pesagem rigorosa de todos os insumos, como mostra a Figura V, de acordo com as adaptações de cada teste. É necessário ter bastante atenção e cuidado nessa etapa para ao confrontar os resultados se possa fazer ligação entre as modificações propostas de forma segura.



Figura V – Pesagens dos Insumos.

Fonte: Própria (2020).

Após isso, a betoneira é carregada com brita 0 e brita 1 juntos, areia, cimento (Figura 6) e a primeira porção de água com aditivo polifuncional misturados. Também foi realizado um Teste de Slump, segundo NBR NM 67 (1998), antes da adição de aditivo superplastificante, em cada teste, para fim de constatação da mudança na trabalhabilidade e consistência do concreto, como mostra a Figura VI.



Figura VI – Carregamento da Betoneira.
Fonte: Própria (2020).

Seguindo com a adição do aditivo superplastificante misturado à segunda porção de água. Essa mistura dos aditivos com a água é recomendada devido aos aditivos, em suas quantidades amostrais, possuírem baixo volume e sozinhos tendem a não se espalhar de forma homogênea em todo o traço. A Figura VII mostra a pesagem do aditivo superplastificante.



Figura VII - Pesagem do Aditivo Superplastificante.
Fonte: Própria (2020).

Depois um novo Teste de Slump após a adição do Aditivo Superplastificante, em que ao se comparar com o Slump feito nas amostras antes da adição desse aditivo, é notório que o concreto apresenta aspecto e abatimentos que indicam trabalhabilidade e consistência bem superiores aos apresentados antes, como mostra a comparação das Figuras VIII e IX.



Figura VIII - Slump Teste sem aditivo superplastificante.
Fonte: Própria (2020).



Figura IX - Slump Teste com aditivo superplastificante.
Fonte: Própria (2020).

Seguindo com a moldagem dos Corpos de Prova Cilíndricos (Figura X), segundo NBR 5738 (2015), esses corpos de provas são deixados para secar por 24 horas em superfície nivelada, longe de qualquer movimento e umidade, como mostra a Figura XI.

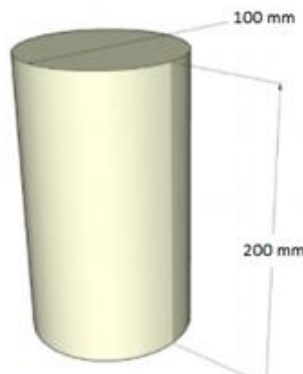


Figura X – Corpos de Prova.
Fonte: UFPR (2017).



Figura XI – Corpos de Prova Moldados/Tanque de Cura.
Fonte: Própria (2020).

Após a moldagem os corpos de provas são levados ao tanque de cura, como mostra a Figura XI, também de acordo com NBR 5738 (2015), onde cada um permaneceu nos períodos de sete e vinte e oito dias para seus respectivos Ensaio de Compressão Axial.

Por fim, é utilizada uma prensa hidráulica mostrada na Figura XII para o rompimento dos corpos de prova no ensaio de compressão axial, regido pela NBR 5739 (2018), cada um na sua data estipulada.



Figura XII – Prensa de Compressão Axial Utilizada.
Fonte: Própria (2020).

3. RESULTADOS

Observando que todos os traços se mantiveram dentro do tempo de pega mínimo estipulado pela NBR 16607 (2018) em 150 minutos, que se faz necessário para transporte e aplicação do concreto, foram obtidos os resultados de resistência à compressão axial dispostos na Tabela II e de consistência dispostos na Tabela III.

| TESTE | FORÇA DE ROMPIMENTO (Kgf) | | | | FATOR A/C | RESISTÊNCIA (Mpa) | | | |
|-------|---------------------------|-------|---------|-------|-------------|-------------------|-------|---------|-------|
| | 7 DIAS | | 28 DIAS | | | 7 DIAS | | 28 DIAS | |
| T1 | 14,42 | | 18,38 | | 0,73 | 18,36 | | 23,40 | |
| T2 | 21,17 | 20,32 | 33,32 | | 0,56 | 26,95 | 25,87 | 42,42 | |
| T3 | 19,86 | 20,45 | 24,99 | 26,46 | 0,67 | 25,29 | 26,04 | 31,82 | 33,69 |
| T4 | 18,55 | 19,22 | 35,86 | | 0,58 | 23,62 | 24,47 | 45,66 | |
| T5 | 18,91 | 19,67 | | | 0,60 | 24,08 | 25,04 | | |
| T6 | 18,10 | 20,64 | 34,62 | | 0,60 | 23,05 | 26,28 | 44,08 | |

Tabela II – Fator Água/Cimento x Resistências de cada teste.

Fonte: Própria (2020).

| TESTE | ADITIVO POLI(%) | ADITIVO SUPER (%) | SLUMP INICIAL(cm) | SLUMP FINAL(cm) |
|---------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| Teste 1 | 0,80% | 0,80% | 0 cm | 12 cm |
| Teste 2 | 0,80% | 0,50% | 0 cm | 5 cm |
| Teste 3 | 0,80% | 0,80% | 0 cm | 10,5 cm |
| Teste 4 | 1,00% | 1,00% | 0 cm | 3,5 cm |
| Teste 5 | 0,80% | 1,00% | 0 cm | 17 cm |
| Teste 6 | 0,80% | 1,00% | 0 cm | 14 cm |

Tabela III – Quantidade de Aditivos x Consistência de cada teste.

Fonte: Própria (2020).

O painel da prensa de compressão utilizada mostra a força de rompimento do corpo de prova em quilograma-força (kgf). Foi feita uma conversão dessa unidade de força para Newton (N) e dividindo essa força pela área da seção do corpo de prova com diâmetro de 10 cm é possível encontrar a tensão de compressão sofrida pelo corpo em Pascal (Pa). Normalmente, os resultados obtidos neste ensaio são da ordem de 100.000 pascal, por facilidade, foi adotado o prefixo “Mega” que indica os resultados em números menores. A Tabela IV mostra os dados dessa conversão.

| UNIDADE | SIGLA | RELAÇÃO |
|------------------------|-------|----------------------------|
| Quilograma-Força | Kgf | 1Kgf = 9,80665 N |
| Newton | N | 1N = 0,1019716213 Kgf |
| Pascal | Pa | 1Pa = 1N / 1M ² |
| Mega Pascal | MPa | 1MPa = 1.000.000 Pa |
| Força de Compressão | Fc | - |
| Área da Seção Circular | A | A = π.r ² |
| Tensão de Compressão | Tc | Tc = Fc / A |

Tabela IV – Cálculo da Tensão de Compressão no corpo de prova cilíndrico.

Fonte: Própria (2020).

Os resultados obtidos mostram aumento de resistência mecânica do concreto com trabalhabilidade e consistência elevadas, é notório que o concreto apresenta aspecto e abatimentos que indicam trabalhabilidade e consistência bem superiores aos apresentados antes da introdução do aditivo superplastificante, como mostra a comparação das Figuras 9 e 10, além de manter a quantidade de cimento do traço convencional de 25 MPa se obteve resistências superiores a 40

MPa em alguns traços testados, como mostra a Tabela 2. Além disso, os resultados seguem o que propõem as teorias dos métodos de dosagem contemporâneas, como citado na introdução deste trabalho.

É também o que propõe o uso do aditivo Glenium 51, da fabricante alemã Basf, de acordo com ficha técnica disponibilizada por uma das corporações responsáveis pela sua distribuição no Brasil, a NTC Brasil. Segundo sua distribuidora brasileira, aditivo Glenium 51 confere ao concreto 40% de redução de água no traço, aumento da resistência à compressão e flexão, reduz a taxa de permeabilidade do concreto, inclusive o fabricante deste aditivo, em especial, promete que seu uso não influenciará no tempo de pega, o que foi observado de forma verdadeira em todos os traços testados, já que todos se mantiveram dentro do limite de 150 minutos estipulado pela norma NBR NM 16607 (2018).

Essas afirmações ganham embasamento prático quando se sabe que a água adicionada ao traço evapora deixando vazios microscópicos no concreto, vazios esses inevitáveis, pois além da evaporação da água, são comuns a todos os estudiosos da área e contém na norma NBR 12655 (2015), uma taxa de ar incorporado que deve ser levado em conta no volume do traço. Por isso, por mais denso que seja o concreto e independente da adição química feita ao mesmo, ele apresentará aspecto poroso em escala microscópica. Dessa forma a diminuição de vazios, se deve a redução de água a ser evaporada e a taxa de ar incorporado que também diminui devido à plastificação da mistura, formando um concreto, em estado seco, mais uniforme, com menos vazios.

Para se determinar a quantidade de aditivo a ser usado, se faz necessário a fixação do fator Água /Cimento e para tanto é indispensável um estudo mais robusto, onde se determinaria a proporção de aumento da resistência em função da redução do fator Água /Cimento, a partir daí se adequaria as porcentagens de aditivo, também, em função da redução do fator Água /Cimento, esse último fazendo ligação entre resistência e consistência.

Na construção civil, se relaciona, diretamente, métodos e custos. Devido a isso será disponibilizado na Tabela VI um levantamento financeiro comparativo para efeito de cálculo da economia gerada com o uso do aditivo superplastificante Glenium 51 nesse traço de concreto convencional bombeado, lembrando que os resultados apresentam corpos de prova com resistência acima de 40 MPA, mas será adotado, para fins de comparação, um traço de 35 MPA. Visto que a maioria dos insumos têm como base para precificação o volume, em metros cúbicos e as cartas traço de concreto possuem seus valores expostos em unidade de massa, o quilograma. Foi elaborada a Tabela V deste estudo, tabela essa explicativa do cálculo de valor por quilo de cada insumo.

| | Kg/m ³ | Preço/m ³ | Preço/kg | Fornecedores |
|-----------|-------------------|----------------------|-------------|---------------------------|
| CIMENTO | 1.600 | R\$ 800,00 | R\$ 0,50 | Votorantim CP II F 40 |
| BRITA 0 | 1.200 | R\$ 70,00 | R\$ 0,05833 | MINERMAC |
| BRITA 1 | 1.400 | R\$ 70,00 | R\$ 0,05 | MINERMAC |
| AREIA | 1.480 | R\$ 30,00 | R\$ 0,02027 | AREIA MÉDIA LAVADA DE RIO |
| AD. POLI | 1.150 | R\$ 9.200,00 | R\$ 8,00 | MASTERPOZZOLITH 221 |
| AD. SUPER | 1.080 | R\$ 21.114,00 | R\$ 19,55 | BASF GLENIUM 25 |

Tabela V – Cálculo de preço por quilograma dos insumos.

Fonte: Própria (2020).

| | 25 Mpa | | 35 Mpa | |
|-----------------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|
| CIMENTO Kg /M ³ | 291 | R\$ 145,50 | 380 | R\$ 190,00 |
| BRITA 0 Kg/M ³ | 248 | R\$ 14,47 | 253 | R\$ 14,76 |
| BRITA 1 Kg/M ³ | 744 | R\$ 37,20 | 758 | R\$ 37,90 |
| AREIA Kg/M ³ | 853 | R\$ 17,29 | 764 | R\$ 15,49 |
| AD. POLI Kg/M ³ | 2,18 | R\$ 17,44 | 2,85 | R\$ 22,80 |
| AD. SUPER Kg/m ³ | 1,45 | R\$ 28,35 | -- | |
| TOTAL | | R\$ 260,24 | | R\$ 280,94 |

Tabela VI – Comparativo de custo dos traços 25MPA x 35MPA.

Fonte: Própria (2020).

Esses valores foram obtidos pelos fornecedores da concreteira, sem considerar as peculiaridades e descontos de cada negociação.

Tomando base um custo de R\$ 300.000,00 mensais somente com a aquisição de insumos, se constata uma economia de 7,5% isso significaria uma redução de R\$ 22.500,00 mensais para a concreteira, com acumulado de R\$ 270.000,00 projetado para um ano, possibilitando assim a concreteira ter maior competitividade no mercado devido à redução de preços além de oferecer aos seus clientes um produto de qualidade superior, o que agrega valor final as suas obras, beneficiando todos os participantes deste ciclo econômico.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados mostrados acima, conclui-se que o aditivo superplastificante Glenium 51 possibilitou a redução da quantidade de água e, conseqüentemente, o aumento na resistência mecânica do traço de 25MPa comercializado pela indústria fornecedora de concreto, ConcretoMac.

A média do aumento na resistência mecânica dos testes foi de 61%, em relação ao traço original de 25 MPa como mostra o gráfico 1. Variando de acordo com as concentrações utilizadas em cada teste, entre 0,5% e 1%, observando melhor resultado no Teste 4 onde o fator água/cimento do traço foi reduzido em 15%, de 0,65 para 0,55 como mostra p gráfico 2. Também se observou ganho de resistência mecânica de 55%, de 25 MPa para 45,66 MPa, comprovando que o efeito aglomerante do cimento não foi prejudicado pelas modificações feitas ao traço original analisado

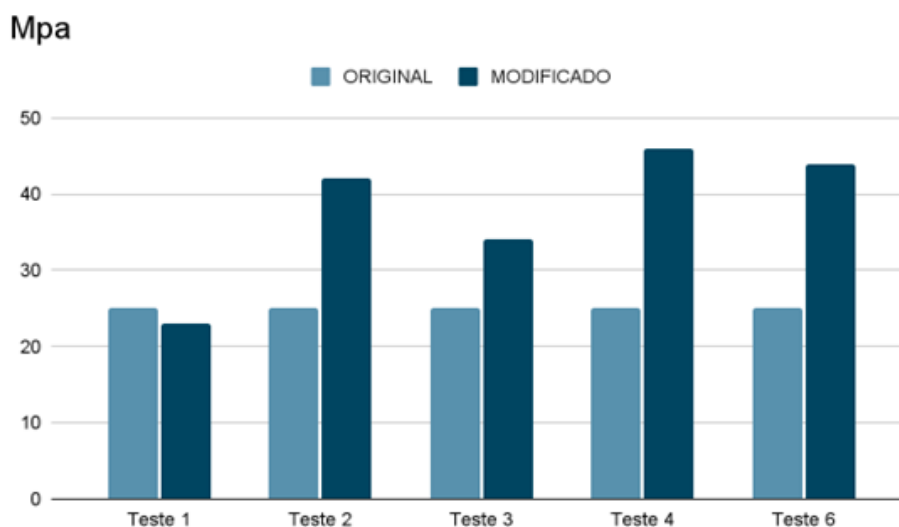


Gráfico I - Comparativo de Resistência no Traço Original x Modificado em cada teste, aos 28 dias de cura.
Fonte: Própria (2021).

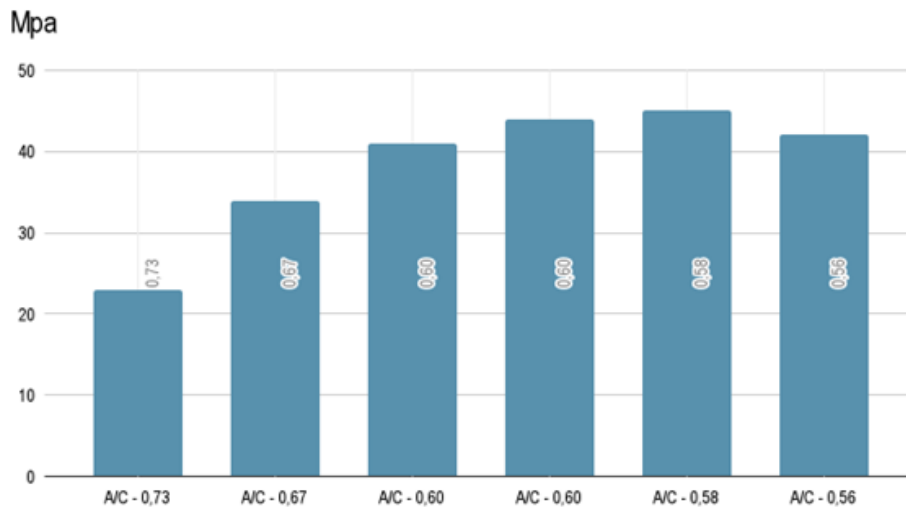


Gráfico II - Comparativo entre Fator Água/Cimento x Resistência.
Fonte: Própria (2021).

Em relação a trabalhabilidade ideal para bombeamento, conclui-se que os resultados nos Testes 5 e 6 foram ideais, com concentração do aditivo superplastificante a 1% e polifuncional a 0,8% em ambos, com 16cm no Teste 5 e 17cm no Teste 6.

Analisando a Tabela VI se constata uma economia em torno de 7,5% diretamente ligada ao custo do traço de 35 Mpa, pela economia de cimento que supera o aumento do preço devido ao aditivo super plastificante, para melhor entendimento do leitor, é possível produzir um traço de 35 Mpa com as mesmas quantidades de insumos do traço de 25 Mpa adicionado do aditivo plastificante que possui valor considerável e pode, com a mudança de fornecedor ou simples negociação de preço, diminuir ocasionando percentual de economia mais acentuado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212/2012**: Execução e Concreto Dosado em Central - Preparo, fornecimento e controle. 4 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2012. 25 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739/2018**: Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655/2015**: Concreto de Cimento Portland - Preparo, Controle, Recebimento e Aceitação - Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 23 p.

HELENE, Paulo *et al.* **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracom, 2010. 944 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto –Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. Rio de Janeiro, ABNT, 2015. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607 - 2017** : Cimento Portland - Determinação Dos Tempos de Pega. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 4 p.

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

AValiação das Características de Deformação em Pasta Cimentícia Utilizando o Método do Tubo Corrugado

PEREIRA, Mara Monaliza Linhares¹; CAPUZZO, Valdirene Maria Silva²

¹ Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, maramonaliza19@gmail.com, 0000-0001-5203-1595

² Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, valdirenemaria@unb.br, 0000-0001-6923-7565

RESUMO

Durante as idades iniciais, as pastas cimentícias sofrem uma significativa deformação de volume devido à reação de hidratação, perda de umidade interna e mudança de temperatura. Consequentemente, o método de ensaio considerado ideal para avaliar a deformação nas idades iniciais deve realizar medições ainda no estado fresco. Deformações em pastas cimentícias causam influências importantes na sua microestrutura, propriedades mecânicas e durabilidade em condições restritas. Nesse contexto, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar as características de deformação de uma pasta de cimento em idades iniciais de hidratação. Para isso, preparou-se uma pasta de cimento com relação água/cimento (*a/c*) fixada em 0,5 e determinou-se as deformações, desde as idades iniciais até 7 dias de ensaio, utilizando o método do tubo corrugado. A partir dos resultados, avaliou-se a evolução da hidratação da pasta cimentícia considerando duas análises, uma a partir da deformação absoluta, e outra, utilizando a deformação após a determinação do tempo zero. De forma geral, o estudo realizado com uma pasta de cimento com relação *a/c* de 0,5 demonstrou que apesar dos poros capilares conterem água suficiente para todas as partículas de cimento serem completamente hidratadas, ainda é possível desenvolver uma retração autógena, sendo que de maneira insignificante, predominando o comportamento de expansão.

Palavras-chave: Deformação; pasta cimentícia; idades iniciais; estado fresco.

ABSTRACT

During early ages, cementitious pastes undergo significant volume deformation due to hydration reaction, internal moisture loss and temperature change. Consequently, the test method considered ideal to evaluate strain at early ages should perform measurements while still in the fresh state. Deformations in cementitious pastes cause important influences on their microstructure, mechanical properties, and durability under restricted conditions. In this context, this study was performed with the objective of evaluating the deformation characteristics of a cement paste at early hydration ages. For this, a cement paste was prepared with a water/cement ratio (*w/c*) fixed at 0.5 and the deformations were determined, from the initial ages to 7 days of testing, using the corrugated tube method. From the results, the evolution of hydration of the cementitious paste was evaluated considering two analyses, one from the absolute deformation, and the other, using the deformation after the determination of time zero. In general, the study performed with a cement paste with a *w/c* ratio of 0.5 showed that although the capillary pores contain enough water for all cement particles to be completely hydrated, it is still possible to develop an autogenous shrinkage, since that insignificantly, predominating the expansion behavior.

Keywords: Deformation; cement paste; early ages; fresh state.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Aïtcin [1], a hidratação do cimento Portland pode ser descrita em diferentes maneiras, desde que, quando o cimento Portland está se hidratando ligações mecânicas são criadas, uma certa quantidade de calor é liberada e o volume absoluto da pasta de cimento diminui. Além disso, a partir de um experimento realizado com dois fracos preenchidos com água, *Le Chatelier* concluiu que uma pasta de cimento apresenta variações volumétricas durante sua hidratação e que essas variações dependem da forma que acontece a sua cura. A pasta de cimento curada sob a água, incha e sob o ar,

encolhe, mas durante a hidratação, qualquer que seja o modo de cura, o volume absoluto da pasta de cimento sofre uma diminuição de 8%, sendo essa contração conhecida como retração química ou contração de *Le Chatelier*.

A contração *Le Chatelier* é uma característica contínua dos materiais cimentícios durante o processo de hidratação, desde que os produtos de hidratação do cimento ocupam menos volume absoluto do que o volume das partículas de cimento anidro somado ao volume da água utilizada na mistura [2]. Quando forma-se a estrutura rígida do esqueleto na pasta, vazios internos se formam na matriz devido à retração química, o que leva à formação de meniscos água/ar e redução contínua da umidade relativa interna (UR). Com isso, uma tensão de tração é gerada na solução dos poros, resultando por sua vez na retração por autosssecagem ou retração autógena [3]. A retração química trata-se da mudança de volume absoluto (interna), enquanto que a retração autógena, é uma mudança de volume aparente (externa) [4].

O material à base de cimento sofre deformação plástica assim que a água entra em contato com o cimento. Consequentemente, o método de ensaio ideal para avaliar a deformação nas idades iniciais deve ser projetado para começar com a pasta no estado fresco. Para isso, existem muitos métodos para medir a deformação de pastas de cimento no estado fresco, e entre eles, destacam-se os dois métodos relativamente bem desenvolvidos, os métodos de medição de volume e medição de comprimento [3, 5]. Se tratando de pastas de cimento, no método volumétrico, a pasta é inserida em uma membrana e curada sob água isotérmica. Durante o ensaio, a mudança de volume da água externa ou a mudança de fluabilidade da pasta é registrada, e com isso, obtém a retração autógena. No método linear, a pasta de cimento é moldada em um módulo rígido com baixo atrito, e utiliza-se um sistema acoplado para registrar as mudanças de comprimento da pasta, por exemplo, sensores de deslocamento ou relógios comparadores [3].

A medição volumétrica apresenta algumas desvantagens, como por exemplo, efeito da exsudação, em que a água da exsudação acumulada na superfície da pasta de cimento antes da pega pode ser reabsorvida na amostra, causando uma deformação adicional [6]. Com o intuito de reduzir os erros nas medições, Jensen e Hensen [7] desenvolveram um dispositivo capaz de medir a deformação de pastas à base de cimento. Esse dispositivo trata-se de uma das abordagens mais conhecidas para o método linear em pastas cimentícias, cujo procedimento é feito atrás da introdução da pasta em um tubo corrugado de polietileno de baixa densidade, que é em seguida selado e colocado horizontalmente em uma estrutura metálica rígida, para que seja feito as medições, podendo transformar a deformação volumétrica da pasta em deformação retração linear, antes que a pasta no estado fresco endureça [3, 5]. Teoricamente, o comprimento linear da pasta fluída pode ser medido imediatamente após a moldagem, mas muitas vezes é medido apenas após o tempo inicial de pega, devido ao uso de sensores de contato [5]. Atualmente esse método é normatizado através da ASTM C1698-19 [8], que foi desenvolvida com base no projeto original de Jensen e Hansen [9], e será utilizado nesse estudo.

Durante as idades iniciais, as pastas cimentícias sofrem uma significativa deformação de volume devido à alguns fatores: reação de hidratação, perda de umidade interna e mudança de temperatura. As características de deformação das pastas de cimento causam influências importantes na sua microestrutura, propriedades mecânicas e durabilidade em condições restritas. Dessa forma, estudar a deformação em pastas de cimento nas idades iniciais é de grande importância para que se obtenha informações úteis para determinação de cálculos de tensão, previsão de fissuras, prevenção e controle de estruturas de concreto de cimento [5]. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características de deformação de uma pasta de cimento em idades iniciais de hidratação.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Nesta seção será apresentada as informações sobre os materiais, composições da pasta de cimento, procedimento de mistura, bem como os métodos escolhidos.

2.1 Caracterização dos materiais

Para a produção das pastas cimentícias foi utilizado o cimento Portland composto com fíler e classe de resistência de 32 MPa (CPII-F-32), conforme a NBR 16697 [10]. A escolha deste aglomerante se deu pelo intuito de utilizar o cimento disponível no mercado, indicado para aplicações gerais, e que não apresentasse material pozolânico em sua composição. Na Tabela 1 são apresentados os dados obtidos, bem como os métodos utilizados, na caracterização física, química e mineralógica deste material. A caracterização química foi obtida através do ensaio de espectrometria por fluorescência de raios-X (FRX), realizado em um aparelho EDX 720, da marca *Shimadzu*. De acordo com a Tabela 1, a composição

química indica uma predominância de óxido de cálcio, uma vez que se trata de um cimento composto com até 25% de fíler calcário, ou seja, um elevado teor de clínquer e rico em carbonato de cálcio.

Tabela 1 – Propriedades e características do cimento CII-F-32.

| Propriedades e características | | Resultados | Limites ^(a) | Método de ensaio |
|---------------------------------------|--------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Massa específica (g/cm ³) | | 3,04 | - | ABNT NBR 16605 [11] |
| Tempos de pega | Início de pega (min) | 160 | ≥ 60 | ABNT NBR 16607 [12] |
| | Fim de pega (min) | 210 | ≤ 600 | |
| Resistência à Compressão (MPa) | 3 dias | 24,49 | ≥ 10,0 | ABNT NBR 7215 [13] |
| | 7 dias | 26,09 | ≥ 20,0 | |
| | 28 dias | 37,26 | ≥ 32,0 | |
| Composição química, em óxidos (%) | CaO | 71,45 | - | - |
| | SiO ₂ | 14,24 | - | - |
| | Fe ₂ O ₃ | 3,60 | - | - |
| | Al ₂ O ₃ | 3,37 | - | - |
| | SO ₃ | 3,24 | ≤ 4,5 | ABNT NBR 16697 [10] |
| | MgO | 2,37 | ≤ 6,5 | ABNT NBR 16697 [10] |
| | K ₂ O | 1,04 | - | - |
| | SrO | 0,43 | - | - |
| | TiO ₂ | 0,21 | - | - |
| | MnO | 0,05 | - | - |
| P.F. ^(b) | | 8,00 | ≤ 12,5 | ABNT NBR 16697 [10] |

^(a) Limites estabelecidos pela ABNT NBR 16697 [10]

^(b) Perda ao fogo (P.F.)

Já a caracterização mineralógica foi realizada através da técnica de difração de raios-X (DRX), utilizando-se um difratômetro *Bruker D8 Discover*, radiação monocromática de um tubo com anodo de cobre acoplado a um monocromador *Johansson* para $K\alpha_1$ operando em 40kV e 40mA, configuração *Bragg-Brentano* θ - 2θ , detector unidimensional *Lynxeye*[®], intervalo de 2θ de 2° a 70°, com passo de 0,01°. Através do difratograma, apresentado na Figura 1, podem ser identificados qualitativamente picos característicos de calcita ou carbonato de cálcio (CaCO₃), gipsita (CaSO₄.2H₂O), ferrita (C₄AF), quartzo (SiO₂), alita (C₃O) e belita (C₂S), que tratam-se de compostos cristalinos formados a partir dos materiais utilizados na produção deste tipo de cimento.

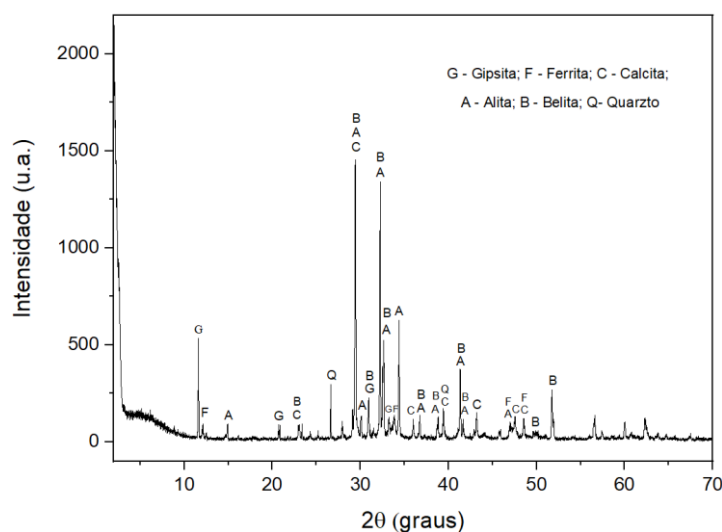


Figura 1 – Difratograma de raios-X do CII-F 32.

Para a produção da pasta cimentícia também foi utilizada a água fornecida pela companhia de abastecimento de água da região de Brasília, isenta de impurezas visíveis e em conformidade com a ABNT NBR 15900-1 [14].

2.2 Composição e preparação da pasta de cimento

Para avaliar as características de deformação em idades iniciais de hidratação preparou-se uma pasta de cimento com relação água/cimento (a/c) fixada em 0,5 e verificou-se a sua consistência utilizando o ensaio de mini *slump*, desenvolvido por Kantro [15]. Como quantitativo dos materiais, utilizou-se uma quantidade de material suficiente para realizar os ensaios propostos e ter eficiência na mistura, o que correspondeu a 500 g de cimento CII-F-32 e 250 g de água, para cada ensaio.

As pastas foram produzidas utilizando um misturador mecânico e a sequência de mistura foi realizada na seguinte ordem: primeiramente, foi colocada na cuba toda a quantidade de água, adicionou-se o cimento e realizou-se a mistura durante 30 segundos, na velocidade baixa. Em seguida, desligou-se o misturador por 60 segundos, para que nos primeiros 30 segundos realiza-se a raspagem das paredes internas da cuba com uma espátula de borracha. Após este tempo, o misturador foi ligado na velocidade alta por mais 60 segundos. Após a preparação da pasta, foi realizado o ensaio de mini *slump* para verificar se o espalhamento atingido era favorável para o processo de moldagem, correspondente ao espalhamento de 90 ± 10 mm. Com a pasta de cimento definida, seguiu-se para a próxima etapa do estudo, que referiu a moldagem do tubo corrugado para realização do ensaio de deformação linear. Devido a pasta apresentar uma relação água/cimento alta foi necessário deixá-la em repouso, dentro da cuba, por cerca de 2 horas, para garantir uma redução na exsudação e evitar dessa forma uma interferência nos resultados de deformação. Na Figura 2 são apresentadas as etapas do procedimento de preparação da pasta de cimento.

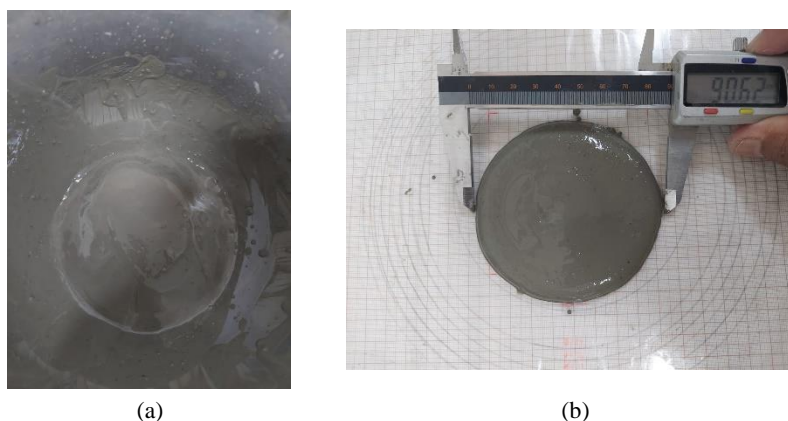


Figura 2 – Sequência de preparação da pasta de cimento: a) Pasta após procedimento de mistura dos materiais; b) Verificação do espalhamento da pasta.

2.3 Deformação linear

Para determinar as deformações desde as idades iniciais, da pasta cimentícia desse estudo, utilizou-se o método do tubo corrugado descrito pela norma ASTM C1698-09 [8], referente a um método linear comumente utilizado. Como os materiais empregados no ensaio, que são a bancada do dilatômetro, os tubos plásticos corrugados e as tampas de extremidades cônicas, não são encontrados para compra no Brasil, foi necessário realizar algumas adaptações para viabilizar a execução desse método no estudo. A bancada do dilatômetro foi fabricada segundo as especificações de norma, enquanto que os tubos corrugados e as tampas foram importados. Como premissa de pesquisa, definiu-se ensaiar apenas uma amostra de tubo corrugado com duração de ensaio em 7 dias, desde que o objetivo era avaliar a deformação nas idades iniciais.

O tubo plástico corrugado, utilizado como molde de corpo de prova, foi produzido com polietileno de baixa densidade, com comprimento de 420 ± 5 mm, diâmetro externo de $29 \pm 0,5$ mm, espessura de $0,5 \pm 0,2$ mm e corrugações triangulares. Para fechamento das extremidades do molde utilizou-se as tampas de extremidades cônicas, com comprimento de $19 \pm 0,5$ mm. Já a bancada do dilatômetro foi produzida a partir de três hastes de aço inoxidável com diâmetro de 20 ± 1 mm e duas placas terminais de aço inoxidável. Na Figura 3 está apresentado o aparato utilizado neste estudo para medição da deformação linear, em que é composto por um tubo corrugado com duas tampas nas extremidades e um dilatômetro de bancada.



Figura 3 – Bancada do dilatômetro juntamente com um molde de tubo corrugado com duas tampas de extremidade.

Antes de preencher o tubo com pasta, o tubo foi fechado em uma das extremidades com uma das tampas, e após 2 horas, a pasta de cimento foi inserida ao tubo através de quatro camadas. Cada camada recebeu um adensamento manual com o uso de uma haste metálica, com o intuito de minimizar a quantidade de vazios. Ao concluir o preenchimento do tubo, a tampa superior foi firmemente ajustada, e para selar o molde e minimizar a possível secagem do corpo de prova utilizou-se cola epóxi. Finalizado a moldagem, o molde preenchido foi posicionado na bancada do dilatômetro, de forma que ficasse fixado rigidamente a uma das extremidades do equipamento, enquanto que a outra ficasse ligada a um relógio comparador, com precisão de 0,001mm, para que o mesmo realizasse as medidas de comprimento, como apresentado na Figura 4.

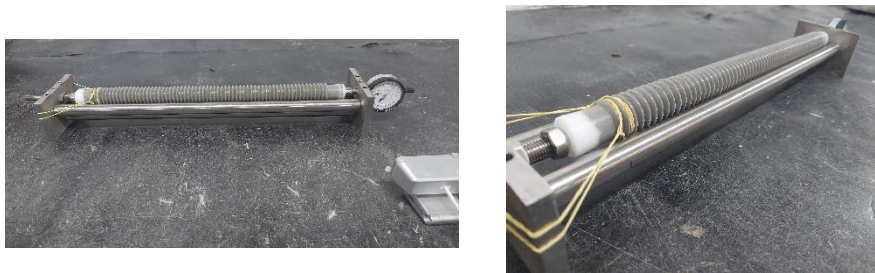


Figura 4 – Ensaio de retração autógena em andamento de acordo com a ASTM C1698-09 [8].

O registro das medições foi feito através de *webcam* ligada a um notebook, através do *software Yawcam®*, em que as medições foram realizadas com frequência de 10 minutos (até 72h) e 1h (até 7 dias). Vale ressaltar que todo o procedimento de ensaio foi realizado em uma sala com temperatura controlada ($23 \pm 1^\circ\text{C}$), como recomenda-se na norma. Além disso, para evitar qualquer interferência nos resultados o molde de corpo de prova não foi movimentado durante toda a execução do ensaio, garantindo assim uma maior precisão nas leituras. Ao final do ensaio, aos 7 dias, realizou-se o tratamento dos dados e calculou-se a deformação linear, expressa em $\mu\text{m}/\text{m}$, a partir da seguinte equação [8]:

$$\varepsilon = \frac{L(t) - L(t_s)}{L(t_s)} \cdot 10^6 \quad (1)$$

onde:

$L(t)$ = comprimento do tubo em um determinado tempo t (mm);

$L(t_s)$ = comprimento do tubo no tempo zero, quando a primeira medição é realizada (mm).

Nesse estudo, o termo “tempo zero” refere-se ao fenômeno de transição suspensão-sólido, e é definido como o tempo decorrido entre o instante que a água entra em contato com o cimento, até o tempo em que a pasta de cimento desenvolve um esqueleto sólido suficiente, responsável pela transmissão de tensão de tração no material cimentício [16, 17]. A norma ASTM C1698-19 [8] recomenda utilizar o tempo final de pega como o tempo zero para realização das medições de deformação. Entretanto, nesse estudo, para a determinação do tempo zero foi adotado o método proposto por Bettencourt, Gonçalves [18], cuja determinação é feita pelo início do platô na curva de deformação associada à redução da taxa de deformação e, além disso, ao instante a partir do qual as menores diferenças entre os resultados de retração dos corpos de prova são obtidas. Além disso, com o intuito de analisar também o comportamento de deformação logo após a mistura da pasta de cimento, optou-se em realizar as medições o mais rápido possível, como recomenda o estudo realizado por Lura,

Kovler [19]. Dessa forma, com as deformações calculadas plotou-se a curva deformação *versus* tempo para poder determinar o tempo zero das misturas, e com isso, avaliar a evolução da hidratação da pasta cimentícia considerando duas análises, uma a partir da deformação absoluta, e outra, da deformação após a determinação do tempo zero.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse estudo, foi determinado experimentalmente a deformação linear, até 7 dias, de uma pasta de cimento com relação a/c de 0,5, através do método do tubo corrugado proposto por Jense e Hansen [9] e normatizado pela ASTM C1698-09 [8], que segue as condições para uma pasta curada em sistema fechado, com temperatura constante e sem restrição externa. Os resultados foram analisados considerando que para atingir uma hidratação completa, Powers [20] afirma que uma pasta de cimento deve ter uma relação água/cimento (a/c) pelo menos igual a 0,42. Além disso, utilizou-se como base as observações e uma curva típica de deformação de pasta cimentícia sobre condições autógenas, medida através do equipamento desenvolvido por Jensen e Hansen [9] e apresentadas no estudo de Bettencourt, Gonçalves [18]. A partir dessas observações, os resultados da deformação linear, desde o início das medições, são apresentados na Figura 5.

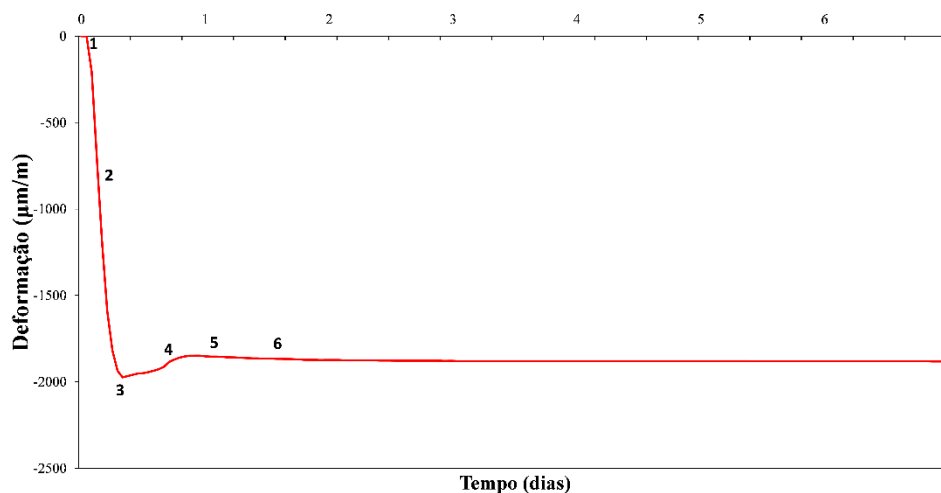


Figura 5 – Deformação absoluta nas primeiras idades da pasta de cimento.

Durante o processo de hidratação, foram observados diferentes comportamentos para as mudanças de variações apresentadas pela pasta de cimento avaliada, podendo dessa forma, serem divididos em seis períodos. O primeiro período (1) referiu-se ao momento entre a mistura e os primeiros registros de deformação. Em seguida (2), notou-se uma forte retração através de uma inclinação durante as primeiras horas de ensaio, em que a pasta ainda se encontrava com características líquidas, sendo esta retração referente a contração de *Le Chatelier*. Após algumas horas, no terceiro período (3), observou-se que a taxa de deformação foi gradualmente reduzida, chegando praticamente ser constante. Já nas medições seguintes, referentes ao quarto período (4), alcançou-se uma pequena expansão, que após certo tempo, foi convertida em contração, representada pelo quinto período (5). Após o quinto período, esta contração aumentou levemente com o tempo (6), conectando uma inclinação crescente a uma inclinação decrescente.

Para entender melhor o comportamento das deformações, analisou-se os períodos através dos conceitos de reações e fenômenos físicos que acontecem durante as reações de hidratações. Durante a fase líquida, as mudanças do volume absoluto e aparente são iguais, desde que a deformação é quase completamente livre de restrições. Com isso, no segundo período as reações de hidratação fazem com que a retração química se transforme diretamente em uma retração externa. Esta deformação é grande devido à magnitude da diminuição do volume de água mais material anidro para formação dos produtos de hidratação, além da ausência de obstrução à deformação. A partir da formação de uma estrutura sólida, terceiro período, a deformação livre do material é impedida. No quarto período a expansão ocorre logo após a finalização do comportamento líquido, em que o grau de hidratação é pequeno, entretanto, o corpo sólido ainda não está bem desenvolvido. Esta expansão pode ser devido à formação e crescimento dos cristais de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), das agulhas de etringita (AFt) ou dos cristais de monossulfoaluminato de cálcio hidratado (AFm). O comportamento seguinte, referente a retração a partir do quinto período, pode ser explicado pela tensão capilar e o aumento da inclinação,

causado pelo refinamento dos poros. À medida que a hidratação progride, o sexto período apresenta uma diminuição da inclinação com o tempo.

Bettencourt, Gonçalves [18] observaram que os primeiros resultados de deformação, que compreende o primeiro e o terceiro período da Figura 5 (1, 2 e 3), demonstram que as medições iniciais podem ser entendidas como comportamento líquido e não são muito relevantes para a análise de tensões, sendo interessante o comportamento sólido, ou seja, a partir do instante da transição de suspensão-sólido. Os autores citam ainda que este instante pode ser determinado a partir do terceiro período, que refere-se ao ponto na curva de deformação associado à redução da taxa de deformação nos primeiros momentos, após a contração de *Le Chatelier*, e antes da expansão devido ao desenvolvimento dos cristais de etringita e hidróxido de cálcio. A escolha de um tempo zero permite reduzir significativamente as diferenças entre os resultados. Na Figura 6 é possível observar esses resultados, após a determinação do tempo zero, utilizando a equação 1 e o critério sugerido por Bettencourt, Gonçalves [18].

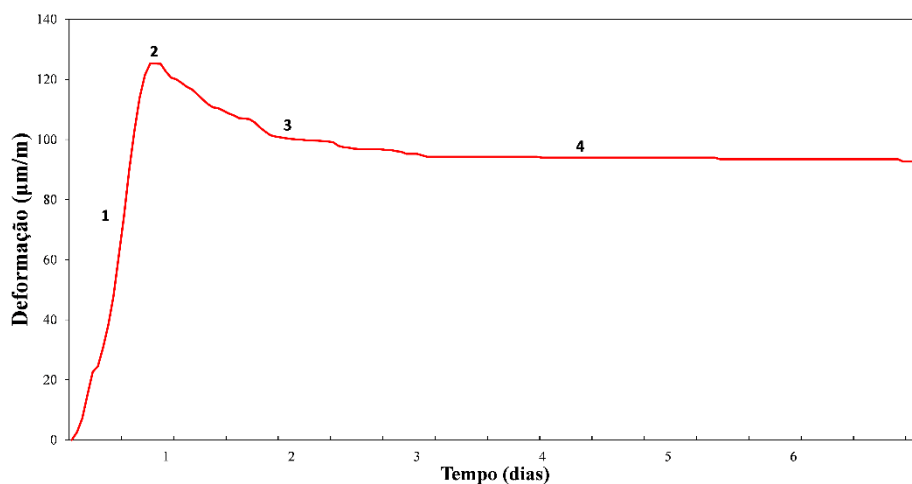


Figura 6 – Deformação após determinação do tempo zero, nas primeiras idades, da pasta de cimento.

Analisando a curva de deformação apresentada na Figura 6, pode-se observar quatro diferentes estágios: primeiro uma grande expansão nas primeiras 20 horas de ensaio, seguida por um pequeno período constante, para logo depois começar uma redução da expansão, e finalizar com um comportamento tendendo a se estabilizar e atingir à nenhuma variação de deformação. Nota-se ainda que todo o comportamento foi caracterizado por uma retração autógena insignificante, predominando a expansão (valores positivos) até o final das medições, que pode ser justificado pela relação *a/c* de 0,5 empregada no estudo, que gerou uma expansão intensa. Como a formação de cristais de *portlandita* é a explicação mais comum para o surgimento de expansão em idades precoces, sugere-se então que a pasta com relação *a/c* de 0,5 desempenha uma grande formação destes produtos de hidratação. Tal fenômeno foi comprovado através do estudo realizado por Pereira *et al.* [21], em que foi avaliado o efeito de diferentes relações *a/c* no processo de hidratação de pastas cimentícias, através de análises de difração de raios-X. Com o avanço da hidratação, os autores observaram que a pasta de cimento com relação *a/c* de 0,5 foi a que alcançou as maiores intensidades para os produtos de *portlandita*.

De acordo com Aïtcin [1], para uma pasta com relação água/cimento superior a 0,42 e curada em sistema fechado, tal sistema conterà mais água do que o necessário para hidratar completamente suas partículas de cimento, de modo que, ao final do processo de hidratação, a pasta de cimento hidratada será composta por algum gel sólido, um pouco de água de gel, o restante da água capilar e a porosidade criada pela contração química da pasta de cimento hidratada. Como a porosidade criada será mais fina que a capilar, ela drenará um volume equivalente de água capilar para que os meniscos apareçam nos capilares maiores. Com isso, as forças de tração geradas não serão altas o suficiente para resultar retração autógena significativa, fenômeno este que foi comprovado através dos resultados de deformação obtidos na Figura 6, desde que não foi observado um comportamento predominante de retração autógena (valores negativos).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foi avaliada as características de deformação de uma pasta de cimento em idades iniciais de hidratação, através do método do tubo corrugado proposto por Jensen e Hansen [9]. As seguintes conclusões podem ser generalizadas de acordo com os resultados experimentais e análises:

- Durante o processo de hidratação, desde o início das medições até os sete dias de ensaio, observou-se diferentes comportamentos de deformações, podendo ser divididos em seis períodos, que podem se resumir em contração de *Le Chatelier*, seguida de expansão e depois uma retração decrescente.
- Através dos conceitos de reações de hidratação conclui-se que a pasta durante a fase líquida sofre uma grande deformação, representada pela contração de *Le Chatelier*, que refere-se a diminuição do volume dos materiais constituintes da pasta, para a formação dos produtos de hidratação. Em seguida, com o início de uma estrutura sólida, uma expansão é gerada a partir da formação e crescimento dos cristais de hidróxido de cálcio e agulhas de etringita. Por fim, o comportamento seguinte de retração é devido a tensão capilar causada pelo refinamento dos poros, à medida que avança a hidratação.
- O comportamento verificado no terceiro período refere-se à transição de suspensão-sólido caracterizada pela redução da taxa de deformação, e todos os resultados que compreendem até esse período, podem ser desconsiderados para a análise das deformações.
- Pasta cimentícia com relação *a/c* de 0,5 e curada em sistema fechado não apresenta significativa retração autógena, sendo predominante o efeito de expansão, até o final das medições, devido a esta relação *a/c* desempenhar uma grande formação de cristais de *portlandita* e conter mais água do que o necessário para hidratar completamente as partículas de cimento.

De forma geral, o estudo realizado com a aplicação do método do tubo corrugado para avaliação das deformações em uma pasta de cimento com relação *a/c* de 0,5 demonstrou que apesar dos poros capilares conterem água suficiente para todas as partículas de cimento serem completamente hidratadas, ainda é possível desenvolver uma retração autógena, sendo que de maneira insignificante, predominando o comportamento de expansão. Além disso, foi observado que o método de tubo corrugado possibilitou a realização de medições lineares de deformações para uma pasta de cimento com alta relação *a/c*, logo após a mistura, garantindo uma boa vedação das amostras e ao mesmo tempo uma redução de restrição.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Universidade de Brasília (UnB), ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC), o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal - FAP-DF (Processo nº: 00193-00000229/2021-21).

REFERÊNCIAS

- [1] AİTCIN, P. C. Phenomenology of cement hydration. In: Aİtcin, P.-C., Flatt, R.J. (Eds.), *Science and Technology of Concrete Admixtures*. Elsevier (Chapter 2), pp. 12-25, 2016.
- [2] AİTCIN, P. C. *Concreto de alto desempenho*. 1º ed. São Paulo: Pini; 2000.
- [3] GAO, P.; ZHANG, T.; LUO, R.; WEI, J.; YU, Q. Improvement of autogenous shrinkage measurement for cement paste at very early age: corrugated tube method using non-contact sensors. *Construction And Building Materials*, v. 55, p. 57-62, mar. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.086>.
- [4] JENSEN, O. M.; HANSEN, P. F. Autogenous deformation and RH-change in perspective. *Cement And Concrete Research*, v. 31, n. 12, p. 1859-1865, dez. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846\(01\)00501-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846(01)00501-4).
- [5] JIANMING, Y.; LUMING, W.; JIE, Z. Experimental study on the deformation characteristics of magnesium potassium phosphate cement paste at early hydration ages. *Cement And Concrete Composites*, v. 103, p. 175-182, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.05.003>.

- [6] BJØNTEGAARD, Ø; HAMMER, T.A; SELLEVOLD, Erik J. On the measurement of free deformation of early age cement paste and concrete. **Cement And Concrete Composites**, v. 26, n. 5, p. 427-435, jul. 2004. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0958-9465\(03\)00065-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0958-9465(03)00065-9).
- [7] JP Charron, J. Marchand, B. Bissonnette. **Early age deformations of hydrating cement systems: comparison of linear and volumetric shrinkage measurements**. Proceedings of the International RILEM Conference on Early Age Cracking in Cementitious Systems EAC (2002), pp. 245-256
- [8] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM C1698**: Standard Test Method for Autogenous Strain of Cement Paste and Mortar. Philadelphia – USA, 2019.
- [9] JENSEN, O. M.; HANSEN, P. F. A dilatometer for measuring autogenous deformation in hardening portland cement paste. **Materials And Structures**, v. 28, n. 7, p. 406-409, ago. 1995. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02473076>.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607**: Cimento Portland – Determinação dos tempos de pegadas. Rio de Janeiro, 2018.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.
- [15] KANTRO, D. L. Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste - A miniature slump test. cement. **Concrete and Aggregates**, v. 2, p. 95-102. 1980.
- [16] WEISS, J. **Experimental determination of the “time-zero” t₀ (maturity M₀)**, in: K. Kovler, A. Bentur (Eds.), International RILEM Conference on Early Age Cracking in Cementitious Systems—EAC', RILEM TC 181-EAS, Haifa 2002, pp. 195–206.
- [17] SILVA, E. F. **Variações dimensionais em concretos de alto desempenho contendo aditivo redutor de retração**. Tese de Doutorado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- [18] BETTENCOURT, A.; GONÇALVES, A. **Autogenous shrinkage measurements on cement pastes: influence of w/c, cement fineness, C₃A content, and superplasticizer dosage**. Relatório 431/2010 – NB, LNEC, Lisboa, 2010.
- [19] LURA, P.; KOVLER, K. M&S highlight: Jensen and Hansen (1995), A dilatometer for measuring autogenous deformation in hardening portland cement paste. **Materials And Structures**, v. 55, n. 2, 26 jan. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-021-01853-0>.
- [20] T.C. Powers, T.L. Brownyard, **Studies of the physical properties of hardened Portland cement paste**, Bulletin 22 (1948). Research Laboratories of the Portland Cement Association, Chicago.
- [21] PEREIRA, M. M. L.; SOUZA, A. R. de; CAPUZZO, V. M. S.; LAMEIRAS, R. de M. Effect of the water/binder ratio on the hydration process of Portland cement pastes with silica fume and metakaolin. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 15, n. 1, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952022000100005>.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida Útil

UTILIZAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA) PARA A INSPEÇÃO E O MAPEAMENTO DE DANOS

LOPES, Melissa Lorrane Frazão¹; BAUER, Elton²; SILVA, Lenildo Santos³

¹ Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brasil, melissafrazao8@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2889-6550>

² Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brasil, elbauerlem@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4559-874X>

³ Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brasil, lenildo_s@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5099-6123>

RESUMO

A inspeção e o mapeamento de danos são essenciais para o estudo da degradação de fachadas e consistem em tarefas complexas, sendo de grande relevância o uso de tecnologias para otimizar e facilitar esses processos. Assim, este estudo tem o objetivo de apresentar uma revisão da literatura sobre a utilização de Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft* – RPA) para a inspeção e o mapeamento de danos de fachadas. Para isso, foram realizadas pesquisas utilizando palavras-chaves relacionadas ao tema. Pelos estudos analisados, observou-se que o uso de RPA permite a realização de inspeções de forma mais ágil e segura e possibilita a obtenção de imagens perpendiculares ao longo de toda a fachada, o que facilita a visualização de anomalias. O processamento digital de imagens, por sua vez, permite a construção de modelos tridimensionais e ortomosaicos das fachadas, o que pode contribuir para a elaboração de mapas de danos. Poucos estudos abordam o mapeamento de danos a partir dos modelos obtidos e alguns mostram a necessidade de observar se a qualidade desses modelos é adequada para o mapeamento, necessitando de mais pesquisas nesse aspecto. Observou-se, ainda, a possibilidade de identificação automática de anomalias, o que também depende de mais pesquisas para a confiabilidade da análise.

Palavras-chave: fachada; inspeção; mapa de danos; drone.

ABSTRACT

Inspection and damage mapping are essential for the study of facade degradation and consist of complex tasks, with the use of technologies to optimize and facilitate these processes being of great relevance. Thus, this study aims to present a literature review on the use of Remotely-Piloted Aircraft (RPA) for facade inspection and damage mapping. For this, researches were carried out using keywords related to the theme. From the studies analyzed, it was observed that the use of RPA allows inspections to be carried out more quickly and safely, and makes it possible to obtain perpendicular images along the entire facade, which facilitates the visualization of anomalies. Digital image processing, in turn, allows the construction of three-dimensional models and orthomosaics of the facades, which can contribute to the elaboration of damage maps. Few studies address the damage mapping from the models obtained and some show the need to observe whether the quality of these models is adequate for the mapping, requiring further research in this aspect. The possibility of automatic identification of anomalies was also observed, which also depends on further research for the reliability of the analysis.

Keywords: facade; inspection; damage map; drone.

1 INTRODUÇÃO

As fachadas auxiliam na proteção das edificações contra os agentes externos de degradação, podendo ser destacadas as ações climáticas, como radiação solar, temperatura, chuva dirigida e ventos. Por estarem mais expostas a esses agentes, as fachadas podem apresentar uma grande deterioração ao longo de sua vida útil. Assim, esse sistema é essencial para o desempenho e a durabilidade das edificações, sendo necessária a compreensão do seu comportamento a longo do tempo, de forma que o estudo da degradação é essencial [1–4].

A inspeção é uma etapa imprescindível no estudo da degradação, permitindo identificar anomalias visíveis nas fachadas, como fissuras, manchas e descolamentos. A inspeção relaciona diretamente o estado dos componentes, a exposição ambiental e as condições de uso da edificação [5]. Além disso, o mapeamento de danos é fundamental para registrar a localização exata das anomalias identificadas nas fachadas e se caracteriza pela realização de investigações e levantamentos para a elaboração de um documento com a representação gráfica e sintética das anomalias, o mapa de danos [6]. A quantificação e o mapeamento das anomalias ainda permite detectar padrões e tendências de degradação [2].

A inspeção e o mapeamento de danos são tarefas complexas, que demandam tempo, cautela e experiência do profissional, para garantir a qualidade adequada dos resultados. Para otimizar e facilitar esse processo, tem havido o interesse na utilização de tecnologias como a Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft – RPA*), popularmente conhecida como drone. Essa ferramenta pode aumentar a segurança na inspeção de edifícios altos e também reduzir o tempo e os custos envolvidos no levantamento [7,8]. Além disso, sua associação com *softwares* de fotogrametria digital também permite a construção de modelos tridimensionais e ortomosaicos das fachadas, podendo contribuir para o mapeamento [7,9]. Assim, o presente estudo tem o objetivo de apresentar uma revisão da literatura sobre a utilização de RPA para a inspeção e o mapeamento de danos de fachadas, buscando analisar a inclusão dessa ferramenta para o estudo da degradação.

2 METODOLOGIA

Para obter o estado da arte em relação aos estudos que abordam o uso de RPA para a inspeção e o mapeamento de danos de fachadas, foram realizadas pesquisas na base de dados *Web of Science*, utilizando as palavras-chave "*facade*" "*inspection*", "*damage mapping*", "*drone*", "*remotely piloted aircraft*" e "*unmanned aerial vehicle*", buscando pelos termos nos campos título, resumo e palavras-chave. Além disso, foram buscados trabalhos citados pelos artigos retornados nas pesquisas.

3 INSPEÇÃO E MAPEAMENTO DE DANOS

3.1 Inspeção de fachadas

A inspeção é uma das formas de obtenção de dados de exposição de longo prazo para o estudo da vida útil, permitindo a avaliação do desempenho de sistemas e elementos construtivos, de acordo com a exposição ambiental e as condições de uso do edifício [5]. A inspeção também auxilia na elaboração de estratégias de manutenção eficazes e, conseqüentemente, para a durabilidade dos sistemas [7].

A inspeção de fachadas deve ser realizada de forma a identificar anomalias visíveis, como descolamentos, fissuras e manchas, sendo uma etapa essencial para o mapeamento de danos [9,10]. Para isso, uma ferramenta bastante utilizada é a câmera fotográfica, que permite o registro do estado de conservação da fachada na data da vistoria. O levantamento fotográfico também é importante para dar suporte e esclarecer possíveis dúvidas durante a análise e interpretação dos mapeamentos [10].

Uma limitação das inspeções é a dificuldade de acesso em fachadas de edifícios altos, de forma a serem realizadas inspeções a partir do térreo, o que dificulta a identificação de anomalias [11]. Como forma de evitar esse problema, o alpinismo industrial é bastante utilizado e consiste em descidas realizadas pelo profissional desse ramo, com a utilização de um balancim individual, por toda a extensão da fachada. Assim, é possível analisar o estado de degradação do revestimento, capturar imagens aproximadas, coletar amostras para possíveis ensaios e realizar testes de percussão. Porém, deve-se levar em consideração o risco do trabalho em altura [7,10].

Além disso, para facilitar o processo de inspeção, tem havido o interesse na utilização de tecnologias como o escaneamento a laser, a termografia de infravermelho, a fotogrametria digital e a RPA. Essas tecnologias possuem potencial para otimizar a inspeção de fachadas, permitindo a obtenção de resultados mais precisos e reduzindo a subjetividade da análise do vistoriador [12–14].

3.2 Mapeamento de danos

O mapeamento de danos abrange os procedimentos de levantamento e análise das anomalias identificadas e a produção de dados para a elaboração do mapa de danos, que consiste no documento gráfico que ilustra minuciosamente a realidade e a deterioração verificada em uma edificação em uma determinada data. Assim, os mapas são importantes para o estudo das anomalias da edificação, de forma a identificar os sintomas visíveis [6,15–17].

Os mapas de danos são, geralmente, representados sobre plantas e elevações da fachada e as anomalias são representadas por elementos gráficos, como hachuras, cores e símbolos, que condensam as informações relativas à degradação observada na vistoria. A forma de representação gráfica de um mapa de danos é tão importante quanto as informações que ele apresenta, pois a eficácia desse documento depende da sua compreensão por todos os agentes envolvidos no processo de conservação de uma edificação [15,18]. Assim, apesar de não haver um padrão para sua apresentação, o mapa deve ilustrar as anomalias identificadas na edificação de forma clara e compreensiva.

O mapeamento de danos pode ser compreendido tanto como um método qualitativo de análise, permitindo identificar visualmente a localização das anomalias [19,20], quanto como um método quantitativo, permitindo a quantificação das áreas danificadas e, assim, contribuindo para a avaliação da degradação de fachadas [21,22]. No mapeamento de danos para o estudo da degradação, uma etapa importante é a aquisição de mosaicos ortogonalizados das fachadas, que auxiliam na identificação, na localização e na quantificação das anomalias, permitindo a obtenção de dimensões e formas adequadas, o que pode ser facilitado pela utilização de RPA.

4 AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA)

O drone é uma ferramenta que pode ser utilizada para facilitar e aumentar a segurança do processo de inspeção de fachadas, reduzir o tempo de levantamento e os custos necessários, quando comparado ao método tradicional (alpinismo industrial) [8,13,23]. Essa tecnologia é denominada atualmente, pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) [24] e pela Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO) [25], como Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft* – RPA). Na literatura, ainda são encontradas as denominações Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) ou *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV).

A RPA pode ter diversos usos na construção civil, podendo ser destacada sua importância para a inspeção de fachadas de edifícios de grande altura, cujo acesso é mais dificultado [8]. Essa aeronave permite capturar fotografias e vídeos de alta resolução por toda a extensão da edificação, inclusive registrando anomalias que não podem ser observadas do térreo [7,23]. Em comparação ao método tradicional, utilizando alpinismo industrial, a RPA apresenta menor tempo para a captura de imagens, devido à facilidade de deslocamento da aeronave, aumenta a segurança da inspeção, eliminando o risco do trabalho em altura, e requer menos recursos financeiros para o levantamento. Porém, uma desvantagem é a impossibilidade de realizar teste de percussão [23].

As aeronaves podem ser dotadas de asas fixas, sendo consideradas aviões convencionais, ou asas rotativas, podendo ser dos tipos helicóptero ou multirrotor, com quatro, seis ou oito rotores [9]. As RPAs com asas rotativas são mais apropriadas para voos ascendentes ou descendentes, possibilitando voos mais próximos às fachadas. Além disso, essas aeronaves permitem sua movimentação em todos os eixos possíveis, sendo eficazes na captura de imagens e, assim, representam maior versatilidade para a inspeção de fachadas [7,9,23,26].

A estabilidade das RPAs com asas rotativas ainda permite que sejam utilizados diferentes tipos de câmeras e sensores embarcados [23], a depender da capacidade de carga da aeronave. Na inspeção de fachadas, os mais comuns são as câmeras digitais, as câmeras termográficas de infravermelho e os *scanners* a laser [7,9,27]. O uso de câmeras termográficas e *scanners* a laser embarcados apresentam potencial para a detecção de anomalias em fachadas, aumentando a eficácia da inspeção. A termografia, em especial, permite a identificação de descolamentos não visíveis por meio de imagens digitais [7,28–31]. Porém, o uso dessas técnicas combinadas à RPA ainda exige um alto investimento e o

conhecimento especializado para realizar os voos e o processamento dos dados obtidos [7]. Considerando isso, o uso de câmeras digitais embarcadas tem se apresentado como a melhor alternativa para a inspeção de fachadas, pois, como as aeronaves já são comercializadas com esse tipo de dispositivo, há uma maior confiabilidade no desempenho, tanto dos equipamentos, quanto dos *softwares* relacionados a eles [7].

A captação de imagens utilizando RPA possibilita a visualização de diversos tipos de anomalias, como manchas, descolamentos e fissuras, além de garantir segurança, eficiência, agilidade e baixo custo operacional da inspeção [13,32]. Além disso, a associação com *softwares* de fotogrametria digital permite a construção de modelos tridimensionais e ortomosaicos [7,9,33], que auxiliam no mapeamento de danos das fachadas.

4.1 Procedimentos para a inspeção de fachadas com RPA

Antes de se iniciar o planejamento do voo com RPA, é necessário ter um conhecimento detalhado dos equipamentos utilizados (aeronave e sensor de imageamento), além de ter definido o objetivo do voo e os resultados esperados [34]. Para realizar a inspeção de fachadas, devem ser tomados alguns cuidados para a obtenção de imagens de boa qualidade e que permitam a construção de modelos tridimensionais e ortomosaicos. Uma característica importante é o posicionamento para as tomadas fotográficas, que devem manter um paralelismo entre si, com uma tolerância de até 10°, e uma perpendicularidade ao plano da fachada do objeto de interesse [9,26,35], como ilustrado na Figura 1. Nos vértices da edificação, as posições para tomadas fotográficas podem ter uma inclinação de até 45° em relação ao plano da fachada, para que não haja problemas no processamento das fotografias, devendo ser mantida uma projeção de raio igual à distância determinada para a posição da câmera em relação ao edifício [9].



Figura 1 – Posicionamento da aeronave para as tomadas fotográficas.

Além disso, é importante que seja feita a sobreposição de fotografias, longitudinal e transversal, acima de 60%, garantindo que cada parte da superfície seja fotografada três vezes, o que facilita a correção de erros no processamento das imagens [9,26,35]. A distância da aeronave à fachada deve ser a menor possível, para possibilitar a obtenção de imagens de qualidade suficiente para a identificação de anomalias, sendo a distância mínima recomendada de 3 metros, garantindo a segurança do voo. Já a distância entre tomadas fotográficas pode ser calculada pela Equação 1 [9,34,36].

$$B = 2 \tan \frac{\alpha}{2} \cdot L \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) \quad (1)$$

Em que B é a distância entre tomadas fotográficas (m); L é a distância à fachada (m); α é o ângulo de abertura da lente da câmera (graus); e p é o percentual de sobreposição transversal (%).

Também é recomendado que seja mantida uma relação da distância entre a posição das estações nas tomadas fotográficas e a distância da aeronave à fachada entre 0,1 e 0,5, conforme a Equação 2. Se essa relação for muito alta, a correlação automática dos pontos é prejudicada, e, por outro lado, se essa relação for muito baixa, há uma redução da precisão da reconstrução digital da fachada [7,9,35].

$$0,1 < R = \frac{B}{L} < 0,5 \quad (2)$$

Em que R é a relação entre as distâncias.

Por fim, recomenda-se seguir uma sequência de captura de imagens em direção paralela à maior dimensão da fachada. Ou seja, seguir uma sequência horizontal quando a largura é maior do que a altura e uma sequência vertical, quando a altura é superior [7].

Entre as limitações no uso de RPA, estão a carga suportada pelo equipamento, a duração da bateria, as barreiras físicas, as condições meteorológicas e de iluminação e as distâncias de inspeção [12,37], descritas na Tabela 1. Ao escolher o dia e horário para realizar a captura de imagens, devem ser evitadas sombras, que projetam bordas sobre a superfície e dificultam o processamento das imagens. Além disso, superfícies brilhantes, sem textura, envidraçadas ou espelhadas devem ser evitadas sempre que possível, pois podem apresentar erros de representação [34].

Tabela 1 – Limitações no uso de RPA.

| Limitação | Consequência |
|--|---|
| Carga suportada pela RPA | Limitação do peso do dispositivo a ser embarcado |
| Duração da bateria | Limitação do tempo de voo |
| Barreiras físicas (árvores, fiação etc.) | Dificuldade de captura de imagens de todas as partes da fachada |
| Condições meteorológicas, condições de iluminação e distâncias de inspeção | Obtenção de imagens de qualidade ruim |

4.2 Processamento digital de imagens

Após a aquisição das imagens, é necessário processá-las para obter as informações necessárias de acordo com a finalidade do estudo. Para isso, a fotogrametria digital é uma ferramenta essencial, permitindo a obtenção de modelos tridimensionais e ortoimagens ou ortomosaicos das fachadas. As ortoimagens, ou imagens ortorretificadas, consistem em imagens em perspectiva ortogonal, em que há a eliminação de deformações de perspectiva da imagem digital. Por outro lado, os ortomosaicos correspondem à junção de várias imagens, associada à sua retificação [9,38].

Para o processamento digital de imagens, são utilizados *softwares* de fotogrametria digital, em que o princípio de funcionamento se baseia na correspondência estéreo densa (*Dense Stereo Matching – DSM*). Com isso, é feita a correlação automática de conjuntos de *pixels* homólogos em fotos distintas, que podem ser denominados de pontos de amarração ou *tie points*. Assim, são obtidas coordenadas tridimensionais e atributos correspondentes à cor visível de pontos da superfície dos objetos fotografados, gerando o modelo geométrico nuvem de pontos, que permite a obtenção do modelo tridimensional e dos ortomosaicos [7,35].

No processamento, primeiro, são identificados pontos correspondentes (alinhamento das imagens), em que os *softwares* comparam pequenas áreas compostas por um conjunto de *pixels* presentes em duas ou mais fotos, buscando encontrar as melhores correspondências entre as imagens. A informação da posição e orientação já computada para as fotografias é utilizada para calcular a localização do ponto no espaço e esse processo dá origem à nuvem de pontos esparsa. Depois, os dados são transformados em uma nuvem de pontos densa, em que todos os detalhes geométricos são construídos sobre as imagens alinhadas, havendo também a retirada de pontos não desejados ou ruídos. A etapa seguinte é a transformação dos dados de nuvem de pontos em malhas, sendo essa a forma mais comum de representar um modelo de superfície. As malhas se caracterizam por um arranjo espacial de polígonos adjacentes, compartilhando arestas da superfície de fronteira do objeto. Um dos polígonos utilizados é o triângulo, formando malhas triangulares, que podem ser geradas automaticamente a partir da nuvem de pontos [9,23].

Finalmente, há a etapa de aplicação da textura, que não precisa ser realizada se o modelo sem textura já apresentar o resultado final esperado. Nessa etapa, os *softwares* de fotogrametria oferecem diferentes possibilidades de textura para a obtenção do modelo tridimensional e dos ortomosaicos. E, a partir dos modelos obtidos, é possível identificar a existência de danos no objeto inspecionado [9]. Figura 2, são exemplificadas as etapas do processamento digital de imagens.

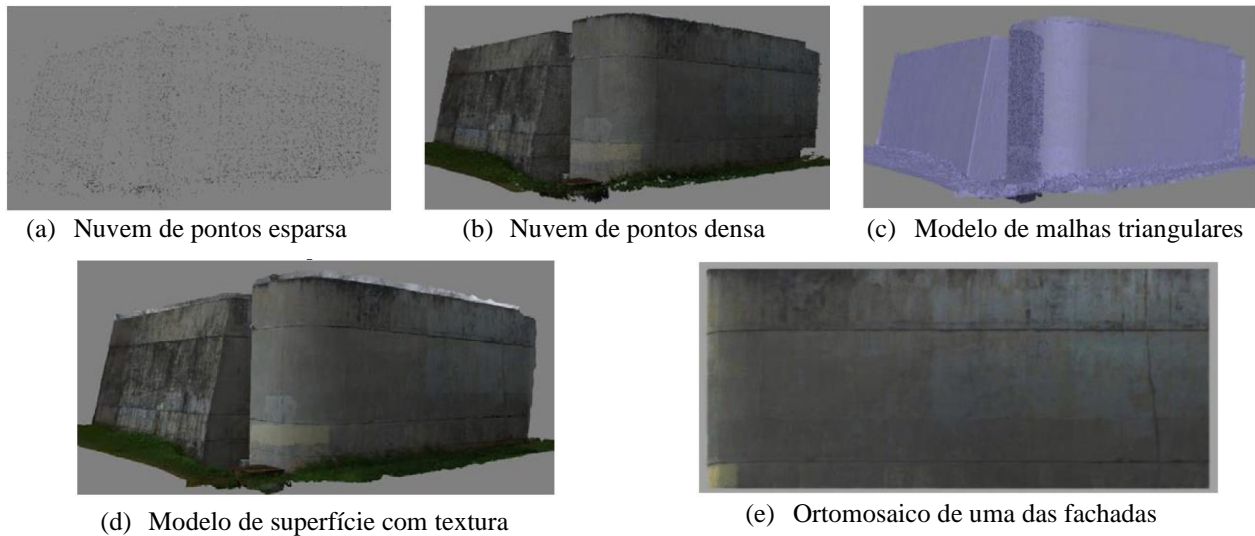


Figura 2 – Exemplo de processamento digital de imagens [39].

4.3 Mapeamento de danos a partir dos modelos obtidos

Diversos são os estudos que discutem a inspeção de fachadas utilizando RPA e a construção de modelos tridimensionais e ortomosaicos. Porém, poucos autores têm como foco a elaboração de mapas de danos a partir desses modelos, o que representa uma lacuna a ser preenchida.

Alguns estudos [7,23] verificaram que o modelo tridimensional obtido no processamento digital de imagens apresenta um resultado satisfatório em relação à reconstrução geométrica de uma edificação. No entanto, não apresenta qualidade suficiente para a identificação de anomalias, devido às distorções no modelo texturizado. Os ortomosaicos das fachadas, por sua vez, possuem qualidade satisfatória para a visualização de anomalias, como verificado por Ruiz, Lordsleem Júnior e Rocha [23]. No estudo de Ballesteros e Lordsleem Júnior [7], os ortomosaicos possibilitaram a detecção de 52% das anomalias identificadas pelas fotografias digitais, enquanto os modelos tridimensionais permitiram a visualização de apenas 23% dessas anomalias. Apesar disso, os ortomosaicos são considerados pelos autores como ótimos recursos complementares para o mapeamento de danos. Dessa forma, quando se trata da inspeção de fachadas, deve-se observar se qualidade dos recursos visuais obtidos (modelos tridimensionais e ortomosaicos) são adequados para a identificação de anomalias, evitando análises equivocadas.

A Figura 3 ilustra os mapas de danos elaborados por [7], em que os danos são representados por identificadores numéricos, sobre os ortomosaicos das fachadas. Destaca-se, porém, a necessidade de se representar as áreas afetadas pelas anomalias, para facilitar a sua quantificação para o estudo da degradação.

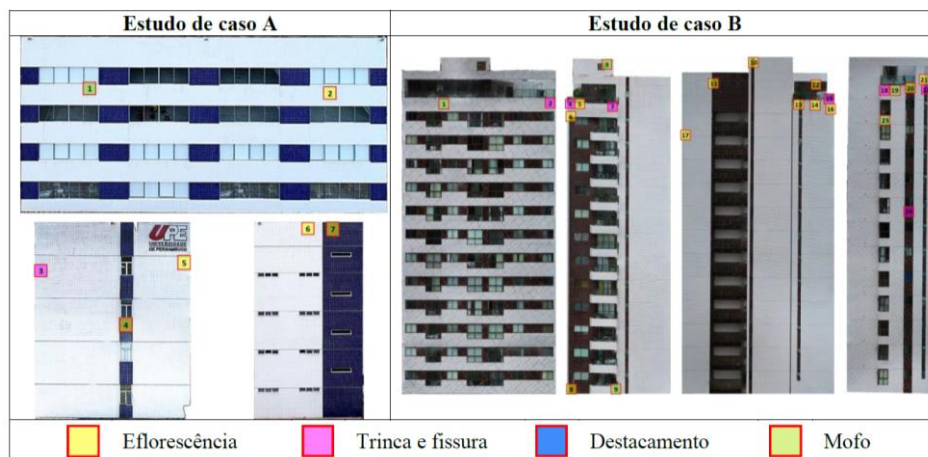


Figura 3 – Exemplos de mapa de danos em ortomosaicos de fachadas [7].

Observa-se ainda que, mesmo utilizando RPA para a inspeção de fachadas, o mapeamento de danos é realizado de forma manual, por meio da análise das imagens digitais ou dos ortomosaicos obtidos. Alguns estudos [9,39–42] têm buscado viabilizar a detecção automática de fissuras e manchas nos revestimentos, para facilitar e agilizar o processo de mapeamento. Os resultados obtidos nessas pesquisas são promissores, porém, são necessários mais estudos que possibilitem a obtenção de resultados confiáveis e a extensão para outros tipos de anomalias.

5 CONCLUSÕES

Com a pesquisa realizada, observou-se que a RPA possui grande potencial para a inspeção e o mapeamento de danos de fachadas, podendo contribuir para o estudo da degradação desse sistema. O uso dessas aeronaves possibilita a obtenção de imagens aproximadas e perpendiculares ao longo de toda a fachada, o que facilita a visualização de anomalias. Além disso, o levantamento de imagens ocorre de forma mais ágil e segura. O processamento digital das imagens capturadas com RPA, por sua vez, possibilita a construção de modelos tridimensionais e ortomosaicos das fachadas, o que pode contribuir para a elaboração de mapas de danos. A qualidade dos resultados do processamento pode estar relacionada a diversos parâmetros, como a resolução da câmera, a distância da aeronave ao plano da fachada, a sobreposição de fotografias e as condições meteorológicas.

Poucos estudos abordam o mapeamento de danos a partir dos modelos obtidos pelo processamento digital de imagens, o que evidencia a necessidade de mais pesquisas nesse aspecto. Considerando os estudos analisados, deve-se ficar atento à qualidade dos modelos obtidos, verificando se estes permitem a identificação das anomalias presentes nas fachadas, para evitar análises equivocadas. Observou-se, ainda, a possibilidade de identificação automática de anomalias, como fissuras e manchas, a partir das imagens capturadas com RPA, o que também depende de mais pesquisas para a confiabilidade da análise.

AGRADECIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro por meio de bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] SOUZA, J. S. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. 139 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/38369>. Acesso em: 07 out. 2021.
- [2] BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. **Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 23-43, out./dez. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000400557>. Acesso em: 9 jan. 2022.
- [3] BAUER, E.; PIAZZAROLLO, C. B.; SOUZA, J. S.; SANTOS, D. G. **Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation**. Journal of Building Pathology and Rehabilitation, [s. l.], v. 5, n. 7, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41024-020-0072-6>. Acesso em: 22 out. 2021.
- [4] SANTOS, D. G.; MACÊDO, M. S. P. H.; SOUZA, J. S.; BAUER, E. **Mensuração e distribuição de patologias na degradação em argamassa**. In: CONFERÊNCIA SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS (PATORREB), 6., 2018, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.nppg.org.br/patorreb/files/artigos/79327.pdf>. Acesso em: 22 out. 2021.
- [5] BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS ISO 15686-2: Buildings and constructed assets – Service life planning**. Part 2: Service life prediction procedures. London: BSI, 2012.
- [6] COSTA, L. G. G. **Cronidas: Elaboração da base de dados para auxílio em representação de mapa de danos**. 2010. 265 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/33584>. Acesso em: 07 jan. 2022.

- [7] BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. **Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 119-137, jan./mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000100497>. Acesso em: 14 out. 2021.
- [8] FALORCA, J. F.; MIRALDES, J. P. N. D.; LANZINHA, J. C. G. **New trends in visual inspection of buildings and structures: study for the use of drones**. *Open Engineering*, [s. l.], v. 11, p. 734–743, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0071>. Acesso em: 8 out. 2021.
- [9] MELO JÚNIOR, C. M. **Metodologia para geração de mapas de danos de fachadas a partir de fotografias obtidas por veículo aéreo não tripulado e processamento digital de imagens**. 376 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/22369>. Acesso em: 27 out. 2021.
- [10] ANTUNES, G. R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília: sistematização da incidência de casos**. 166 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal de Brasília, Brasília, DF, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/8932>. Acesso em: 06 out. 2021.
- [11] FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; FREITAS, V. P. **Stains in facades’ rendering: Diagnosis and maintenance techniques’ classification**. *Construction and Building Materials*, [s. l.], v. 22, p. 211-221, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.08.023>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- [12] DIAS, I. S.; FLORES-COLEN, I.; SILVA, A. **Critical analysis about emerging technologies for building’s façade inspection**. *Buildings*, [s. l.], v. 11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings11020053>. Acesso em: 8 out. 2021.
- [13] SERRAT, C.; BANASZEK, A.; CELLMER, A.; GIBERT, V. **Use of UAVs for Technical Inspection of Buildings within the BRAIN Massive Inspection Platform**. *IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*, [s. l.], v. 471, n. 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/2/022008>. Acesso em: 16 out. 2021.
- [14] MARKOVIĆ, M.; LABAN, M.; KUZMIĆ, T.; VUJINOVIĆ, M.; DRAGANIĆ, S. **Application of Modern Technologies in Assessing Facade Condition of Building Structures**. In: FIG WORKING WEEK 2020, Amsterdam. Anais [...] 2020. Disponível em: https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2020/papers/ts08b/TS08B_markovic_laban_et_al_10678_abs.pdf. Acesso em: 16 jan. 2022.
- [15] BARTHEL, C.; LINS, M.; PESTANA, F. **O papel do mapa de danos na conservação do patrimônio arquitetônico**. In: CONGRESO IBEROAMERICANO, 1.; JORNADA TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO, 8., 2009. Anais [...] Buenos Aires: Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica, 2009.
- [16] TINOCO, J. E. L. **Mapa de danos: recomendações básicas**. Olinda: Centro de Estudos de Conservação Integrada – CECI, 2009. (Textos para discussão. Série 2: gestão de restauro). Disponível em: <http://www.ct.ceci-br.org/ceci/br/informacao/acervo-para-download/category/2-cursos.html?download=77#:~:text=O%20mapa%20de%20danos%20%C3%A9,sistemas%20e%20nos%20componentes%20construtivos>. Acesso em: 08 out. 2021.
- [17] TIRELLO, R. A.; CORREA, R. H. **Sistema normativo para mapa de danos de edifícios históricos aplicado à Lidgerwood Manufacturing Company de Campinas**. In: COLÓQUIO LATINOAMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO E PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO INDUSTRIAL, 5., 2012, Campinas. Anais [...]. Campinas: Comitê Brasileiro para a Preservação do Patrimônio Industrial (TICCIH), 2012. Disponível em:

http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/VI_coloquio_t1_sistema_normativo_mapa.pdf. Acesso em: 08 out. 2021.

[18] COSTA, M. S. **Identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica**. 2014. 184 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/17325>. Acesso em: 16 out. 2021.

[19] BERSCH, J. D.; VERDUM, G.; GUERRA, F. L.; SOCOLOSKI, R. F.; GIORDANI, C.; ZUCHETTI, L.; MASUERO, A. B. **Diagnosis of pathological manifestations and characterization of the mortar coating from the facades of historical buildings in Porto Alegre - Brazil: A case study of Château and Observatório Astronômico**. *International Journal of Architectural Heritage*, [s. l.], p. 1145-1169, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1771475>. Acesso em: 19 nov. 2021.

[20] COSTA, V. S.; SILVEIRA, A. M.; TORRES, A. S. **Evaluation of degradation state of historic building facades through qualitative and quantitative indicators: case study in Pelotas, Brazil**. *International Journal of Architectural Heritage*, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1901161>. Acesso em: 8 out. 2021.

[21] SOUZA, J. S.; BAUER, E.; NASCIMENTO, M. L. M.; CAPUZZO, V. M. S.; ZANONI, V. A. G. **Study of damage distribution and intensity in regions of the facade**. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, [s. l.], v. 1, n. 3, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41024-016-0003-8>. Acesso em: 22 out. 2021.

[22] SOUZA, J. S.; BAUER, E. **Estado limite de degradação de fachadas revestidas em cerâmicas**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL NA “RECUPERAÇÃO, MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO DE EDIFÍCIOS”, 5., 2020, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350432646_ESTADO_LIMITE_DE_DEGRADACAO_DE_FACHADAS_REVESTIDAS_EM_CERAMICAS. Acesso em: 05 out. 2021.

[23] RUIZ, R. D. B.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; ROCHA, J. H. A. **Inspeção de fachadas com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT): estudo exploratório**. *Revista ALCONPAT*, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 88–104, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.517>. Acesso em: 8 out. 2021.

[24] AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **RBAC-E nº 94: Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil**. Brasília, 2021. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf. Acesso em: 16 dez. 2021.

[25] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Remotely piloted aircraft system (RPAS) concept of operations for international ifr operations**. Montreal: ICAO, 2017. Disponível em: <https://www.icao.int/safety/UA/Documents/ICAO%20RPAS%20Concept%20of%20Operations.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2021.

[26] AMORIM, A. L.; SILVA, L. S.; CHRISTAKOU, E. D. **Uso de VANTs em documentação arquitetônica**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM O USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS, 2., 2012, Belém. Anais [...]. Belém: Universidade Federal do Pará, 2012.

[27] ACOSTA, L. M.; TORRES, A.; KREJZA, Z.; GIBERT, V.; SERRAT, C. **Exploring technological alternatives to the visual inspection method in the built environment**. *IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*, [s. l.], v. 222, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/222/1/012027>. Acesso em: 16 out. 2021.

[28] MADER, D.; BLASKOW, R.; WESTFELD, P.; WELLER, C. **Potential of UAV-Based laser scanner and multispectral camera data in building inspection**. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, [s. l.], v. XLI-B1, p.1135-1142, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B1-1135-2016>. Acesso em: 16 out. 2021.

- [29] ENTROP, A. G.; VASENEV, A. **Infrared drones in the construction industry: designing a protocol for building thermography procedures.** Energy Procedia, [s. l.], v. 132, p. 63-68, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.636>. Acesso em: 16 out. 2021.
- [30] ELLENBERG, A.; KONTOS, A.; MOON, F.; BARTOLI, I. **Bridge deck delamination identification from unmanned aerial vehicle infrared imagery.** Automation in Construction, [s. l.], v. 72, p. 155-165, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.024>. Acesso em: 02 out. 2021.
- [31] ANDRADE, R. P.; RESENDE, M. M.; MARANHÃO, F. L. PORTELLA, F.; BULZICO, B. **Estado da arte da utilização da técnica de termografia embarcada em drones para inspeção de revestimentos de fachada.** In: Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos (TECSIC), 2., 2019, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2019. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/tecsic/article/view/358>. Acesso em: 08 out. 2021.
- [32] WALTER, B. G.; SCHAEFFER G.; CHRIST, R.; PACHECO, F.; TUTIKIAN, B. F. **Uso do VANT para identificação das manifestações patológicas de fachadas: estudo de caso em edificações multifamiliares.** In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN, 15.; CONGRESO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, 17., 2019,. Anais [...]. Tuxtla Gutiérrez: CONPAT, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.21041/CONPAT2019/V2PAT302>. Acesso em: 16 out. 2021.
- [33] PATRIOTA, R. **Mapeamento de fachadas usando aeronave remotamente pilotada.** In: SEMINÁRIO DE PERÍCIAS DE ENGENHARIA DA POLÍCIA FEDERAL, 9., 2018, Fortaleza. Anais [...]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334132407_MAPEAMENTO_DE_FACHADAS_USANDO_AERONAVE_REMOTAMENTE_PILOTADA. Acesso em: 16 out. 2021.
- [34] SILVA, L. S.; ZANONI, V. A. G.; PAZOS, V. C.; SANTOS, L. M. A.; JUCÁ, T. R. P. **Fotogrametria com imagens adquiridas com drones: do plano de voo ao modelo 3D.** 1. ed. Brasília: LaSUS FAU: Editora da Universidade de Brasília - UnB, 2021.
- [35] GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. Dense Stereo Matching (DSM): conceitos, processos e ferramentas para criação de nuvens de pontos por fotografias. In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 16., 2012. Anais [...]. Fortaleza: SIGRADI, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275963019_Dense_Stereo_Matching_DSM_conceitos_processos_e_ferramentas_para_criacao_de_nuvens_de_pontos_por_fotografias. Acesso em: 10 jan. 2022.
- [36] RAKHA, T.; GORODETSKY, A. **Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: towards automated building inspection procedures using drones.** Automation in Construction, [s. l.], v. 93, p. 252-264, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.002>. Acesso em: 21 nov. 2021.
- [37] FALORCA, J. F.; LANZINHA, J. C. G. **Facade inspections with drones - theoretical analysis and exploratory tests.** International Journal of Building Pathology and Adaptation, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 235-258, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJBPA-07-2019-0063>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- [38] COELHO, L.; DE BRITO, J. **Fotogrametria digital.** Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007. Disponível em: http://www.efoto.eng.uerj.br/images/Documentos/fotogrametria_digital_revisado.pdf. Acesso em: 20 out. 2021.
- [39] MELO JÚNIOR, C. M.; EVANGELISTA JÚNIOR, F.; SILVA, L. S.; NEPOMUCENO, A. A. **Geração de mapas de danos de fachadas de edifícios por processamento digital de imagens capturadas por VANT e uso de fotogrametria digital.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 211-226, jul./set. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000300277>. Acesso em: 7 out. 2021.
- [40] MELO JÚNIOR, C. M.; ALVES, G. S.; EVANGELISTA JÚNIOR, F.; CHRISTAKOU, E. D.; SILVA, L. S.; NEPOMUCENO, A. A. **Geração de mapas de danos de fachadas a partir de processamento digital de imagens.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. Anais [...]. Maceió: ENTAC, 2014. Disponível em: <http://doi.org/10.17012/entac2014.289>. Acesso em: 16 out. 2021.

[41] ESCHMANN, C. KUO, C. M.; KUO, C. H.; BOLLER, C. **Unmanned aircraft systems for remote building inspection and monitoring**. In: EUROPEAN WORKSHOP ON STRUCTURAL HEALTH MONITORING, 6., 2012. Anais [...]. Saarbrücken: EWSHM, 2012. Disponível em: <http://www.ecphm2012.com/Portals/98/BB/th2b1.pdf>. Acesso em: 21 out. 2021.

[42] CHEN, K. REICHARD, G.; XU, X.; AKANMU, A. **Automated crack segmentation in close-range building façade inspection images using deep learning techniques**. Journal of Building Engineering, [s. l.], v. 43, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102913>. Acesso em: 08 abr. 2022.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e vida útil

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO:
ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA DE ENGENHARIA**

WOLFF, Carolina¹; CARTA, Giulio²; PEREIRA, Henrique José Moura³; CAPRARO, Ana Paula Brandão⁴

¹ Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, ccarolinawl@gmail.com, 0000-0002-8526-777X

² Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, cartagiulio2@gmail.com, 0000-0001-6021-1107

³ Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, henrique.pereiraz777@gmail.com, 0000-0002-4708-8615

⁴ Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, anapcaprar@gmail.com, 0000-0001-6270-6568

RESUMO

As manifestações patológicas presentes nas construções necessitam de intervenções específicas de acordo com o seu tipo e localização na estrutura, buscando o reestabelecimento e segurança da estrutura da edificação. O presente trabalho, teve como objetivo a sumarização e estudo de caso de uma empresa de engenharia, sobre manifestações patológicas encontradas em 20 estruturas de concreto armado, de 220 à 7200 m², inspecionadas na cidade Curitiba - PR, no período do primeiro semestre 2019 ao final do primeiro semestre de 2021. Para a realização deste estudo, foram listadas e catalogadas as manifestações patológicas observadas, assim como vistorias realizadas por uma empresa da área. Ainda, o estudo apresentou as análises das manifestações patológicas mais recorrentes, assim como, uma discussão acerca do surgimento delas em função da idade das construções na cidade de Curitiba.

Palavras-chave: Manifestações Patológicas; Concreto Armado; Vistorias; Estrutura.

ABSTRACT

The anomalies present in the constructions require specific interventions according to their type and location in the structure, with the objective of restoring and securing the structure of the building. The present work aimed to summarize and case study of an engineering company, on pathological manifestations found in 20 reinforced concrete structures, from 220 to 7200 m², inspected in the city of Curitiba - PR, from the first semester of 2019 to the end of the first semester of 2021. To carry out this study, the pathological manifestations observed were listed and cataloged, as well as inspections carried out by a company in the area. Also, the study presented the analysis of the most recurrent pathological manifestations, as well as a discussion about their emergence due to the age of buildings in the Curitiba city.

Keywords: Manifestations; Reinforced Concrete; surveys; Structure.

1. INTRODUÇÃO

As construções que antecedem a década de 80, foram projetadas de acordo com a NB1 [1], que em sua concepção, sugeria um horizonte de projeto das estruturas de concreto armado de 50 anos, sem especificação de cobrimento, consumo mínimo de cimento e limite para a relação água/cimento.

Souza e Ripper [2] afirmam que devido a essas concepções antigas nasce um novo conceito do ramo da engenharia, conhecido como a patologia das construções. Ainda, segundo o autor, “esse novo campo da engenharia das construções se concentra no estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas”.

Conforme Pires [3], toda a edificação possui um período de vida útil estimada. Muitas vezes o nível de desempenho já se encontra abaixo do satisfatório antes do prazo estabelecido, devido a causas diversas, como por exemplo, a falta de manutenção periódica. E ainda, o autor afirma que a manutenção, quando é executada de forma certa e no tempo correto, prorroga a vida da construção e, conseqüentemente, mantém o bom desempenho para qual ela foi projetada.

Segundo Ferreira e Lobão [4], em um estudo de levantamento, 45% das causas de manifestações patológicas ocorreram por falhas de projeto, 22% falha de execução, 15% má qualidade dos materiais, 11% má utilização do usuário e 7% outros. Contudo, em função do porte da edificação, método construtivo adotado e do uso da edificação, a distribuição das causas pode variar, sendo essa, a finalidade desse estudo.

Devido a análise dos dados citados anteriormente de Ferreira e Lobão [4], foi observada a necessidade, de que cada vez mais, as construções fossem otimizadas, confortáveis e sustentáveis. A possibilidade de recuperação de uma estrutura em concreto armado sem a necessidade de descarte do seu material (demolição) deve ser estudada.

Conforme o estudo de Tessaro, Saccol e Scremin [5], a construção civil é um dos setores econômicos de maior impacto no meio ambiente. Entre os impactos causados por essa atividade, pode-se citar o elevado volume de resíduos gerados, que, na maioria dos municípios brasileiros, são depositados irregularmente, intensificando os problemas de saneamento nas áreas urbanas.

Este trabalho teve como objetivo abordar o tema de patologia em estruturas de concreto armado, em edificações de 2 a 25 pavimentos, e área entre 150m² e 15500m², com a finalidade de sumarizar as manifestações patológicas encontradas mais frequentemente em edificações vistoriadas por uma empresa na cidade de Curitiba. Esta pesquisa foi feita através de dados obtidos com uma empresa do município, que atua na área de reabilitação de estruturas e disponibilizou os dados para a realização deste estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Andrade [6], a construção civil começou a se confrontar com um grande aumento dos danos causados pela deterioração das estruturas a partir da segunda metade do século XX, quando os gastos com reparos foram significativamente acentuados. Assim, os mecanismos de deterioração passaram a ser mais estudados, gerando normas e parâmetros de projeto diretamente associados à durabilidade.

De acordo com Sales [7], em função das interações com o ambiente no qual as estruturas de concreto armado estão expostas, elas podem sofrer alterações, as quais, com o passar dos anos, podem comprometer a sua estabilidade e a sua funcionalidade.

Conforme Brandão e Pinheiro [8], um projeto adequadamente elaborado deve conferir segurança às estruturas, garantindo desempenho satisfatório em serviço, além de aparência aceitável. Portanto, devem ser observadas as exigências com relação à capacidade resistente, bem como, às condições em uso normal e, principalmente especificações referentes a durabilidade. Ainda, segundo o mesmo autor, quanto aos requisitos de segurança, têm-se observado que em geral, eles são satisfatoriamente atendidos, ao passo que as exigências de bom desempenho em serviço e durabilidade têm sido, muitas vezes, deixadas em segundo plano.

2.1 Durabilidade

Segundo Helene [9], a durabilidade de uma estrutura em concreto armado é determinada por quatro fatores, sendo ela classificada pelo autor em a regra dos 4C:

1. Composição ou traço do concreto;
2. Compactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura;
3. Cura efetiva do concreto na estrutura;
4. Cobrimento ou espessura do concreto de cobrimento nas armaduras;

A NBR 6118 [10] define, a durabilidade de uma estrutura de concreto, como a capacidade da estrutura em resistir às influências previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante. Os mecanismos degradantes preponderantes relativos ao concreto são:

1. Lixiviação por ação de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas, as quais dissolvem e carregam os compostos hidratados da pasta do cimento.
2. Expansão por ação de águas e solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratada.
3. Expansão por ação das reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos.
4. Reações deletérias de certos agregados, decorrentes de transformações de produtos à base de sulfeto de ferro, presentes na sua constituição mineralógica, produzindo reações expansivas e manchas ferruginosas na superfície do concreto.

A qualidade do concreto, o cobrimento nominal, classe de agressividade do meio e o controle de fissuração são os pontos fundamentais na norma para que através destes itens, a durabilidade do elemento estrutural possa ser garantida.

2.2 Vida útil

Segundo a NBR 6118 [10], por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual, se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme inspeção e manutenção preventiva e o manual de utilização, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

De acordo com Helene [9], a representação do comportamento da vida útil de uma estrutura em concreto armado ao longo do seu tempo de utilização, em condições de serviço típicas e analisadas as manifestações patológicas mais comuns, pode-se classificar genericamente e datar as fases da vida útil de uma estrutura (Figura 1).

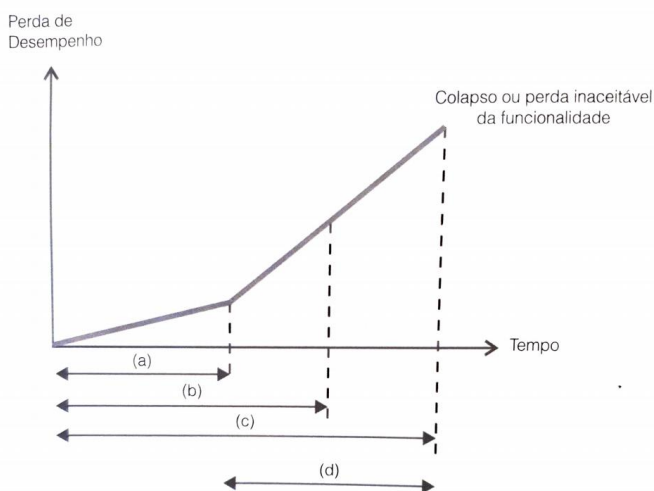


Figura 1 – Vida útil das estruturas. Fonte: Helene [9].

Da Figura 1 tem-se:

- a. Vida útil de projeto: agentes agressivos estão penetrando entre os poros do cobrimento nominal;
- b. Vida útil de serviço ou de utilização: apresentação de manifestações dos efeitos dos agentes agressivos, sendo, fissuração ou manchas referentes a corrosão de armaduras;
- c. Vida útil total: período compreendido até a ruptura e ao colapso parcial ou total da estrutura.
- d. Vida útil residual: representa a vida útil da estrutura entre a de serviço e total;

Conforme Andrade [6], a vida útil de uma estrutura depende do desempenho dos elementos estruturais e não estruturais, tais como juntas, aparelhos de apoio, drenos, entre outros, que normalmente apresentam vida útil menor que a do concreto,

levando à necessidade do estabelecimento de um programa adequado de manutenção, a fim de que não prejudiquem toda a estrutura.

2.3 Manifestações patológicas

As causas de ocorrência dos fenômenos patológicos podem ser as mais diversas, desde o envelhecimento natural, acidentes, irresponsabilidade de profissionais e usuários, que optam pela utilização de materiais fora das especificações ou não realizam a manutenção correta da estrutura, muitas vezes por razões econômicas, dentre outras [2].

Entende-se por patologia do concreto armado, a ciência que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens dos problemas patológicos encontrados nas estruturas de concreto armado. Para um dano qualquer existe a possibilidade de vários fatores serem responsáveis. Estes danos podem vir apenas a causar incômodos, para aqueles que irão utilizar a obra segundo o fim para o qual foi feita, tais como pequenas infiltrações até grandes problemas, que podem levar a estrutura ao colapso [11].

De acordo com Pedro et al. [12], as manifestações patológicas são classificadas como:

1. Congênitas – são aquelas que surgem ainda na fase de projeto, e ocorrem pela falta de observação das normas técnicas, também por falhas e descuidos dos profissionais, que acabam tendo como consequência falhas no detalhamento e execução inadequada das construções.
2. Construtivas – o surgimento dessas manifestações patológicas, está relacionado na etapa de execução da obra, e tem ocorrência no emprego de mão-de-obra desqualificada, materiais não certificados e ausência de metodologia para execução dos serviços.
3. Adquiridas – essas aparecem, durante a vida útil da edificação e são causadas pela exposição ao meio em que se inserem.
4. Acidentais – causadas pela ocorrência de algum fenômeno atípico, resultado de uma solicitação incomum.

Segundo Thomaz [13], os problemas mais comuns relacionados direta ou indiretamente com as alvenarias, são: fissuras (paredes estruturais e paredes de vedação), formação de eflorescências, penetração de água em fachadas, descolamento de revestimentos e algumas alterações químicas dos materiais de construção.

A deterioração das estruturas de concreto armado pode ser decorrente de: falhas humanas durante a construção, agentes externos e fatores relacionados aos materiais empregados nas estruturas. Dentre as manifestações patológicas encontradas em estruturas de concreto, podendo-se destacar, as fissuras, carbonatação, desagregação, perda de aderência e desgaste [2]. A fissuração pode ser considerada a manifestação patológica que mais ocorre, ou pelo menos a que chama mais atenção dos proprietários [2].

As trincas em concreto armado, devido à corrosão das armaduras são muito comuns em edificações e precisam ser tratadas adequadamente, a fim de bloquear o processo e não as agravar como tem ocorrido em algumas obras, nas quais não se procura identificar, diagnosticar e corrigir as verdadeiras causas do problema [14].

As mais comuns causas da ocorrência da corrosão no concreto são: má execução das peças estruturais, concreto com resistência inadequada, ambiente agressivo, proteção insuficiente, manutenção inadequada ou inexistente e presença de cloretos [15].

O estudo das manifestações patológicas nas construções é de grande importância na busca de qualidade dos processos construtivos e na melhoria da habitabilidade e durabilidade das edificações. Para se evitar o surgimento de manifestações patológicas, é necessário fazer um estudo detalhado das origens para melhor entendimento do fenômeno e auxiliar nas decisões de definição de conduta e planos de ação contra os problemas [16].

2.4 Normatização de inspeção predial

Um dos caminhos para a detecção ou prevenção de manifestações patológicas em estruturas, é através da inspeção predial. A NBR 16747 [17] contém todas as etapas para realização da inspeção predial. De acordo com a norma, a inspeção é um

processo que visa auxiliar na gestão da edificação e, quando realizada com periodicidade regular, contribui com a mitigação de riscos técnicos e econômicos associados à perda do desempenho.

A norma cita que as inspeções devem ser realizadas apenas por profissionais habilitados, que devem estar registrados nos conselhos profissionais pertinentes e dentro das respectivas atribuições profissionais contempladas na legislação vigente. A norma ainda diz que, a atividade de inspeção, possui características multidisciplinares e pode demandar equipes de profissionais de diferentes formações.

Para a etapa de inspeção, a NBR indica que a mesma deve basear-se na avaliação das condições do edifício, que contempla condições técnicas, de uso, operação, manutenção, funcionalidade da edificação e dos subsistemas construtivos. Ainda afirma que, a avaliação é realizada de acordo com a capacidade da edificação, atendendo as funções necessárias para qual foi designada em sua concepção.

Para a avaliação abranger todos os requisitos necessários, a norma informa o subconjunto de requisito dos usuários, que contempla: segurança, habitabilidade e sustentabilidade.

Conforme a norma, as etapas da inspeção predial são as seguintes:

1. Levantamento de dados e documentação;
2. Análise dos dados e documentação solicitados e disponibilizados;
3. Análise dos dados e documentação solicitados e disponibilizados;
4. Anamnese para a identificação de características construtivas da edificação;
5. Vistoria da edificação de forma sistêmica;
6. Classificação das irregularidades encontradas;
7. Recomendação das ações necessárias para restaurar ou preservar o desempenho dos sistemas, subsistemas e elementos construtivos da construção;
8. Organização das prioridades em patamares de urgência;
9. Avaliação de manutenção de acordo com a NBR 5674;
10. Avaliação de uso e redação e emissão do laudo técnico de inspeção;

Os objetivos da inspeção predial de acordo com a normatização, são a análise dos dados obtidos com a partir da mesma citados anteriormente, tomando as devidas atitudes de acordo com as prioridades que devem ser previamente classificadas na vistoria.

O laudo técnico, é emitido ao final das análises de cada item sugerido pela norma, constando os dados dos profissionais que participaram da inspeção predial (normalmente para a análise participam técnicos especialistas), e os dados da empresa ou responsável solicitante.

3. METODOLOGIA

O método adotado para a elaboração deste trabalho de pesquisa, baseou-se em um estudo de caso com o levantamento de dados sobre as principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, de edificações de 2 a 25 pavimentos, e área entre 150m² e 15.500m², vistoriadas por uma empresa na cidade de Curitiba – PR.

Foram organizados dados disponíveis de inspeções realizadas por uma empresa atuante no ramo desde o início dos anos 2000, e que será mantida em sigilo por questões éticas.

A metodologia de escolha, catalogação e estudo, seguiu o critério da NBR 16747 [17], onde classificam as intervenções em patamares de urgência de maior para o menor risco. O grau adotado na organização dos dados, refere-se à classificação dada pelo profissional habilitado que emitiu o parecer técnico da empresa.

Grau 1 - Ações necessárias quando a perda de desempenho compromete a saúde e/ou a segurança dos usuários, e/ou a funcionalidade dos sistemas construtivos, com possíveis paralisações; comprometimento de durabilidade (vida útil) e/ou aumento expressivo de custo de manutenção e de recuperação.

Grau 2 - Ações necessárias quando a perda parcial de desempenho (real ou potencial) tem impacto sobre a funcionalidade da edificação, sem prejuízo à operação direta de sistemas e sem comprometer a saúde e segurança dos usuários

Grau 3 - Ações necessárias quando a perda de desempenho (real ou potencial) pode ocasionar pequenos prejuízos à estética ou quando as ações necessárias são atividades programáveis e passíveis de planejamento, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor da edificação.

As variáveis de controle para o estudo têm como base, área e idade da edificação, agressividade do meio e tipo de função estrutural (infra ou superestrutura).

Para escolha dos locais de estudo, realizaram-se recortes temporais das obras inspecionadas entre os períodos de Janeiro de 2019 a Agosto de 2021, com apenas uma empresa atuante, limitando o espaço amostral, em idade e localização.

Conforme o levantamento físico-fotográfico, pareceres técnicos emitidos e intervenções executadas, (cedidas pelo corpo técnico parceiro), foram catalogados 20 locais de reformas, recuperações ou reforços estruturais realizados pela empresa.

A Figura 2 apresenta a localização das obras que serão avaliadas, sendo elas, em 14 bairros diferentes.



Figura 2 – Divisão administrativa da região de Curitiba com indicação dos bairros onde foram catalogadas as intervenções executadas pela empresa.

4. RESULTADOS




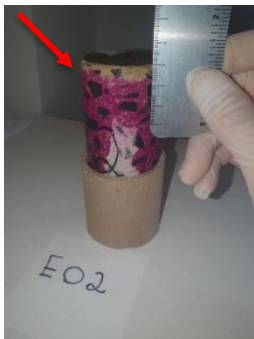
Conforme localização, descrição, diagnóstico, estudo e indicação das manifestações patológicas, segundo os critérios da NBR 16747 [17], foi elaborada uma tabela resumo (Tabela 1), contemplando todas as informações relevantes das edificações estudadas neste trabalho.

Tabela 1 - Listagem resumo das obras.

| Bairro | Ano da intervenção | Pav. | Área total (m ²) | Idade | Método estrutural | Manifestação patológica apresentada | Patamar de urgência |
|----------------|--------------------|------|------------------------------|---------|------------------------------------|--|---------------------|
| Centro | 2019 | 18 | 7200 | 50 anos | Concreto armado | Recalque de fundação | Grau 2 |
| São Braz | 2019 | 2 | 360 | 8 anos | Concreto armado | Infiltrações | Grau 2 |
| Mercês | 2019 | 2 | 150 | 70 anos | Alvenaria estrutural | Infiltrações | Grau 2 |
| Mercês | 2019 | 3 | 500 | 45 anos | Concreto armado | Trincas/Rachaduras | Grau 2 |
| Boqueirão | 2019 | 4 | 1000 | 1 ano | Concreto armado | Fissuras/Trincas e Recalque de fundação | Grau 1 |
| Seminário | 2019 | 5 | 1400 | 5 anos | Estrutura metálica/concreto armado | Recalque de fundação | Grau 2 |
| Santa Cândida | 2019 | 2 | 2500 | 20 anos | Concreto armado | Corrosão de armaduras | Grau 1 |
| Campo comprido | 2019 | 4 | 550 | 15 anos | Concreto armado | Recalque de fundação | Grau 2 |
| Tingui | 2019 | 3 | 1200 | 5 anos | Concreto armado | Recalque de fundação | Grau 2 |
| Bigorriho | 2019 | 25 | 15500 | 40 anos | Concreto armado | Corrosão de armaduras/ Desplacamento do concreto/Infiltrações e carbonatação | Grau 1 |
| Bigorriho | 2019 | 3 | 2500 | 30 anos | Concreto armado | Trincas/Rachaduras e Corrosão de armaduras | Grau 1 |
| Cabral | 2019 | 8 | 2400 | 15 anos | Concreto armado | Infiltrações | Grau 2 |
| Abranches | 2020 | 4 | 1200 | 25 anos | Concreto armado | Infiltrações | Grau 2 |
| Cic | 2020 | 3 | 800 | 30 anos | Alvenaria estrutural | Infiltrações | Grau 2 |
| Centro | 2020 | 15 | 9500 | 50 anos | Concreto armado | Infiltrações | Grau 2 |
| Capão Raso | 2021 | 3 | 3500 | 40 anos | Concreto armado | Corrosão de armaduras/ Desplacamento do concreto e Carbonatação | Grau 1 |
| Portão | 2021 | 5 | 2100 | 20 anos | Concreto armado | Trincas/Rachaduras e Carbonatação | Grau 1 |
| Cic | 2021 | 2 | 800 | 10 anos | Concreto armado | Carbonatação | Grau 2 |
| Seminário | 2021 | 2 | 220 | 6 meses | Concreto armado | Subdimensionamento | Grau 2 |
| Cabral | 2021 | 8 | 2700 | 13 anos | Concreto armado | Infiltrações/Trincas | Grau 2 |

Diante do espaço amostral tabulado, foram observadas diversas manifestações patológicas que foram apresentadas e discutidas neste item. Em seis situações, foi possível a identificação de um estágio avançado de degradação da estrutura, ocasionando o comprometimento acelerado da durabilidade e vida útil da edificação. Os demais mecanismos degradantes encontrados foram: infiltrações, carbonatação e deslocamento do concreto armado, que acarreta a redução da seção transversal dos elementos estruturais. A Tabela 2 apresenta exemplos fotográficos encontrados em edificações utilizadas neste estudo, informando a localização e o tipo da manifestação patológica na estrutura.

Tabela 2 - Exemplificação de manifestações patológicas do espaço amostral analisado.

| Manifestação patológica analisada | Localização na edificação | Exemplos da manifestação patológica |
|---|---|---|
| Infiltrações generalizadas nas alvenarias de vedação da edificação. | Subsolo garagem da edificação. |  |
| Corrosão das armaduras longitudinais e transversais do pilar da edificação, ocasionando o deslocamento do concreto. | Garagem térrea da edificação. |  |
| Fissuras e trincas na face externa do pilar de canto da edificação | Terraço descoberto no pavimento térreo. |  |
| Carbonatação superficial em corpo de testemunho, retirado de laje maciça em concreto armado. | Laje de piso do pavimento térreo da edificação. |  |

Levando em consideração as informações apresentadas na Figura 3, 30 % das obras analisadas neste trabalho referem-se a idades de 0 a 10 anos. Um quarto das construções apresentam-se em idades medianas de utilização 25%, outros 15%

representam obras com idades entre 21 a 30 anos e por fim, as obras excedentes, estão entre o intervalo de medianas a longevas, contemplando os últimos 30% da pesquisa.

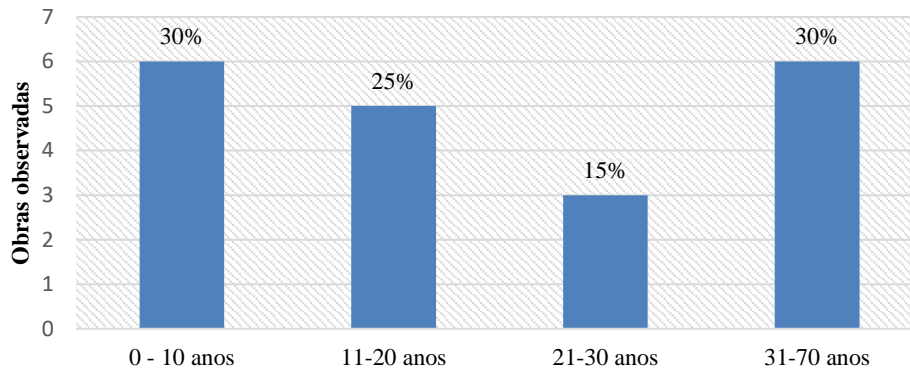


Figura 3 - Percentual de obras relacionando diretamente com a idade da edificação estudada.

Os critérios de classificação das manifestações patológicas seguem de acordo com a descrição do diagnóstico, relatado na apresentação e listagem das obras, contemplando todas as 20 edificações analisadas, onde, a categorização para classificação do gráfico (Figura 4), tem as seguintes descrições:

- Alteração no lençol freático: Segundo Matos [18], lençol freático é um lençol de água subterrâneo, formado pela infiltração da água das chuvas no solo e que ocupa os seus poros e as fendas de rochas. Ainda segundo o autor, com a diminuição das chuvas, a umidade presente no solo é evaporada, aumentando o índice de vazios e diminuindo a capacidade de suporte. Este fenômeno pode ocasionar os recalques diferenciais de fundação não projetados.
- Mão-de-obra: Segundo Nunes e Alvarenga [29], o processo de execução de obras civis nem sempre segue os padrões técnicos/normativos adequados, gerando muitas vezes erros, atrasos, gastos dispendiosos e manifestações patológicas nas edificações.
- Manutenção preventiva: Observa-se uma extrema carência de manutenções preventivas nas obras analisadas do espaço amostral, ocasionando uma diminuição da vida útil das estruturas. Neville citado por Metha [20], afirma que tal atividade não deve ser relegada a segundo plano, sob pena de se ter grandes problemas durante o período de utilização da edificação.
- Nova configuração de cargas: Ocorre quando há mudança de arquitetura ou uso de uma edificação.
- Projetos estruturais: De acordo com Andrade [21], tal etapa é de importância fundamental na definição das condições de durabilidade que uma estrutura apresentará durante a sua vida útil, pois os fatores que mais influenciam na durabilidade das obras são as características do concreto, as condições de carregamento e exposições são determinados em tal fase do processo construtivo.

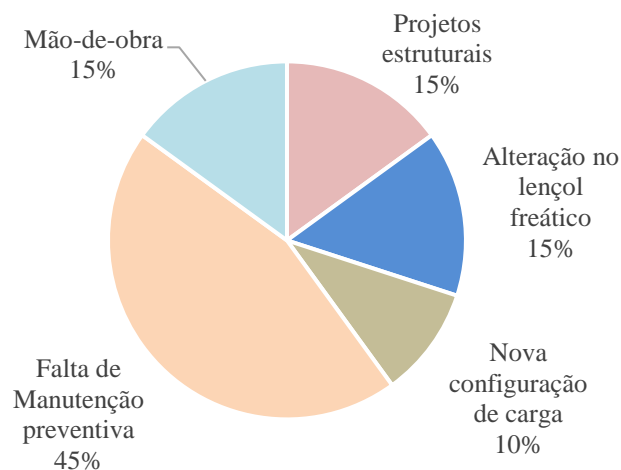


Figura 4 – Origem das manifestações patológicas das obras listadas no recorte temporal.

Observou-se que em 45% de todas as obras analisadas, as manifestações patológicas mais comuns estão diretamente relacionadas com a ausência ou inexistência de manutenções preventivas por parte dos moradores ou síndicos, sendo as mais recorrentes em residências e condomínios analisados as de infiltrações (em áreas externas), como nos muros de arrimo, alvenarias de divisa e em lajes expostas (terraços). Nas áreas internas, a infiltração mais frequente apresenta-se nas áreas molhadas dos apartamentos e nas prumadas gerais dos edifícios e residências.

Verificou-se ainda que, das obras analisadas, 15% referem-se ao recalque diferencial de fundações, o qual está diretamente relacionado com a alteração do nível de lençol freático. De acordo com o boletim climatológico da região de Curitiba (SIMEPAR) [22], o ano de 2020, foi um dos mais secos em 90 anos, ocasionando um rebaixamento gradual do nível de água do solo de toda a região, e assim diminuindo a capacidade de suporte de diversas fundações existentes.

Observou-se que em 15% das obras analisadas há queixa referente à projetos estruturais, apresentando alguma deficiência de dimensionamento, sendo necessário executar reforços ou recuperações, no decorrer de sua construção ou vida útil.

Ainda, em 10% das obras analisadas há manifestações patológicas decorrentes de uma nova configuração de carga na estrutura, gerando uma modificação de arquitetura da edificação com novos equipamentos pontuais ou revestimentos de maior carga empregados na reforma, ocasionando a necessidade de reforço da estrutura.

Observou-se que em 15% das obras analisadas a inexistência, falta ou negligência da mão de obra qualificada, acarretaram manifestações patológicas, sendo necessário reforço ou recuperação dos elementos.

Comparando os resultados obtidos deste estudo com Helene [15], é possível relacionar as causas das manifestações patológicas observadas. Conforme bibliografia, o planejamento e projeto representam uma fatia de 4% e 40%, respectivamente, sendo as causas das manifestações patológicas, enquanto no estudo, a porcentagem foi de 15%, referindo-se ao espaço projeto estruturais.

De acordo com Helene [15], 10% das manifestações patológicas de uma edificação estão relacionadas com o uso. Nesra pesquisa referem-se à 25%, inserido no espaço de alteração de lençol freático e nova configuração de carga.

A manutenção preventiva representou 45% das causas de manifestações patológicas nas obras analisadas. Este tipo de manifestação representa, segundo Helene [15], as faixas de porcentagem referente ao uso, 10%, e materiais, 18%.

Por fim, a porcentagem de intervenções necessárias relacionadas com a baixa qualidade da mão de obra fora de 15%, ao ponto que na bibliografia representa (28%).

As divergências de valores obtidas neste estudo, tem por razão a diferença do espaço amostral estudado. Helene [15], em sua obra, não cita as localizações, idades das edificações e períodos examinados. Devido à ausência destas informações, ocorre esta grande disparidade de valores entre a bibliografia e os dados obtidos neste trabalho.

Conforme os dados da Tabela 1 e a tabulação dos mesmos, as Figuras 5 a 8 representam graficamente a distribuição em porcentagem das manifestações patológicas encontradas nas edificações do espaço amostral estudado em função da idade das mesmas. A manifestação patológica é classificada de acordo com os levantamentos fotográficos das edificações, sendo realizada a análise da causa em cada diagnóstico.

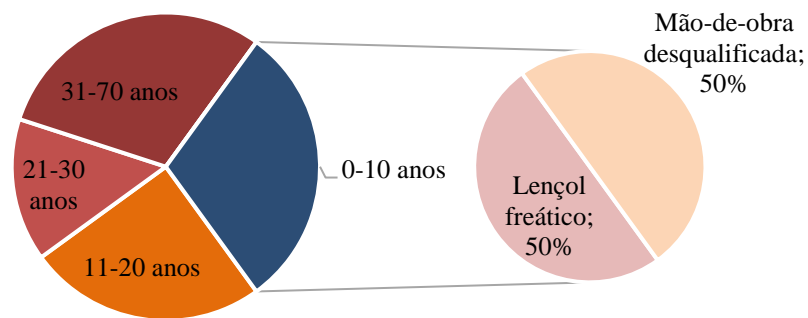


Figura 5 - Percentual setorizado das manifestações das edificações de 0-10 anos de utilização.

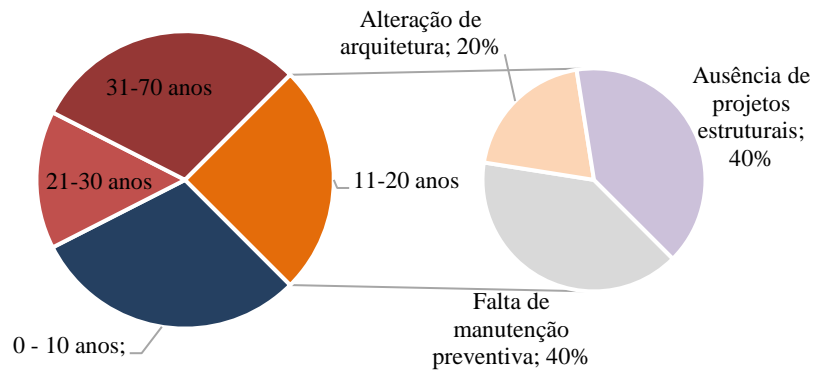


Figura 6 - Percentual setorizado das manifestações patológicas das edificações de 11-20 anos de utilização.

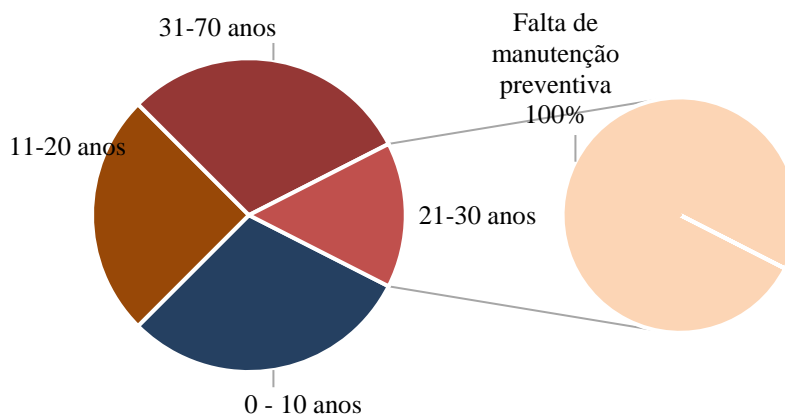


Figura 7 - Percentual setorizado das manifestações patológicas das edificações de 21-30 anos de utilização.

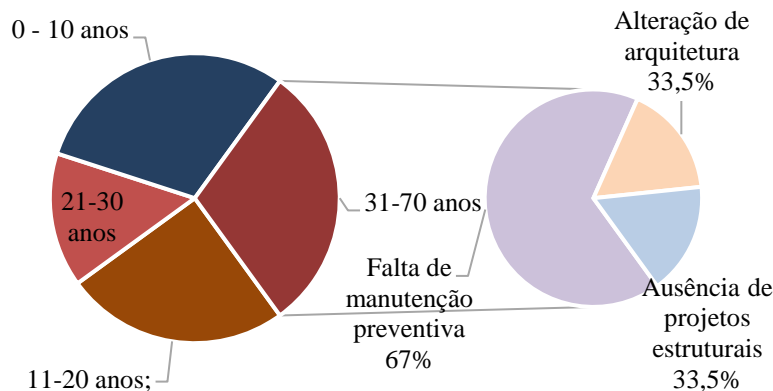


Figura 8 - Percentual setorizado das manifestações patológicas das edificações de 31-70 anos de utilização.

Segundo a Figura 5, as edificações mais novas, ou seja, de 0 a 10 anos, apresentaram dois diagnósticos, sendo eles a alteração do lençol freático e a baixa qualificação de mão de obra nos processos construtivos. De acordo com a Figura 6, as edificações de 11 a 20 anos apresentaram três diagnósticos, falta de manutenção preventiva por parte dos proprietários, ausência de projetos estruturais e a alteração do uso e características das edificações.

A Figura 7 apresenta uma única causa para as edificações de 21 a 30 anos, a falta de manutenção preventiva, a qual acarretou em diversas manifestações patológicas nas estruturas. De acordo com a Figura 8, as edificações de 31 a 70 anos apresentaram três diagnósticos, falta de manutenção preventiva por parte dos proprietários, ausência de projetos estruturais e a alteração do uso e características das edificações.

As obras mais recentes caracterizadas no espaço amostral de 0 a 10 anos de idade e 11 a 20, representaram manifestações patológicas distintas em alguns casos, das obras mais longevas, 21 a 30 e 31 a 70 anos. Isto decorre de ações distintas conforme o tempo de uso e exposição da edificação. Como exemplo, a variação brusca do nível do lençol freático não foi encontrada nas obras mais longevas no espaço amostral estudado, sendo encontrada apenas em obras mais recentes. Uma das possíveis causas, segundo a análise feita pelos autores com os dados do SIMEPAR [22], a severa estiagem pronunciada em Curitiba, não ocorria a 90 anos, desta forma o lençol freático permanecia estável.

A ausência de projetos é uma das causas de manifestações patológicas em obras. Neste estudo, ocasionalmente é encontrada em edificações de 11 a 20 anos e 31 a 70 anos. Conforme Helene [15], as falhas de projeto são, em geral, mais graves que as falhas de qualidade dos materiais ou de má execução. Ainda cita que é sempre preferível investir mais tempo no detalhamento e estudo da estrutura que, por falta de previsão, tomar decisões apressadas ou adaptadas durante a execução. Outra causa comum no espaço amostral de 11 a 20 anos e 31 a 70 anos é a alteração de uso da edificação. A NBR 16280 [23] cita que, a alteração nas condições da edificação existente com ou sem mudança de função, visando recuperar, melhorar suas condições de habitabilidade, uso ou segurança, caracteriza uma alteração de projeto, sendo necessário uma inspeção predial de acordo com a NBR 16747 [17].

Na análise das obras estudadas mais longevas (acima de 10 anos), foi observado que um motivo das manifestações patológicas foi comum. A ausência de manutenção preventiva foi a causa do surgimento das manifestações patológicas, esse dado confirma a importância da manutenção preventiva já destacada nos estudos de Flores-Colen e Britto [24] e Mishra et. al. [25]. De acordo com Helene [15], os problemas patológicos são evolutivos e tendem a se agravar com o passar do tempo, além de acarretarem outros problemas associados ao inicial. Ainda segundo o autor, é necessária uma implementação de um programa de manutenção periódica.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, as manifestações patológicas em estruturas de concreto armado mais recorrentes, segundo o recorte temporal e a empresa analisada, são os recalques estruturais de fundação e infiltrações generalizadas. Diante da manifestação patológica recalque, a recorrência desta, é diretamente relacionada com a pouca incidência das chuvas na cidade de Curitiba nos últimos anos. Com isto, houve diversos pontos onde o nível do lençol freático rebaixou, causando a expulsão da água contida nos vazios do solo, ocasionando uma perda gradual de suporte da estrutura, sendo necessária uma intervenção para reforço destas estruturas.

A infiltração foi a manifestação patológica que mais estava presente nas intervenções, sendo encontrada nas estruturas de concreto armado e em alvenarias internas ou externas. Como esta manifestação é a que mais atenta os usuários, muitos proprietários corrigiram tais vazamentos ou percolações vindas do solo, porém, buscaram apenas tratamentos paliativos e estéticos, não dando a devida atenção para a causa do problema.

Devido à estas constatações, foi apontado que as manifestações mais corriqueiras poderiam ser evitadas e corrigidas se o proprietário ou síndico das edificações conhecessem e aplicassem a norma de inspeção predial NBR 16747 [17], e ainda fossem orientados por profissionais habilitados. Desta forma, realizando as manutenções preventivas que, conseqüentemente proporcionariam menor gasto nas intervenções e maior conforto ao usuário, as edificações não apresentariam manifestações patológicas em idades tão pequenas, aumentando então a sua vida útil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa fornecedora dos dados e a Universidade Positivo pela estrutura cedida a pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-1: **Cálculo e execução de obras de concreto armado; Cargas móveis em pontes rodoviárias; Barras de aço torcidas a frio para concreto armado**. Rio de Janeiro, 1960.
- [2] SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.
- [3] PIRES, J.R. **Patologias na construção dos edifícios. Caso de estudo, edifício da FICASE na Cidade da Praia**. 2013. 2285. Tese (Licenciatura) – Faculdade de Arquitectura. Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, Palmarejo Grande, cidade da Praia, 2013.
- [4] FERREIRA, J. B.; LOBÃO, V. W. N. **Manifestações patológicas na construção civil**. Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE, Sergipe, v. 5, n. 1, p. 74, 2018.
- [5] TESSARO, A. B.; SA, J. S. de; SCREMIN, L. B. **Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS**. Ambient. constr., Porto Alegre, n. 2, p. 121-130, junho, 2012.
- [6] ANDRADE, T. **Tópicos sobre durabilidade do concreto. Concreto: ensino pesquisa e realizações**. São Paulo IBRACON, cap.25, p.753-79, 2005.
- [7] SALES, A. et al. **Corrosão e degradação em estruturas de concreto: Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção**. Elsevier Brasil, v. 2, f. 152, 2018. 33 p.
- [8] BRANDÃO, A.M.S.; PINHEIRO, L.M. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto**. Cadernos de engenharia de estruturas, n.8 São Carlos: EDUSP/EESC, 1999.
- [9] HELENE, P. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo USP. Tese (livro Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 272 p, 1993.

- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- [11] HELENE, P. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1988.
- [12] PEDRO, E. G.; MAIA, L. E. F. C.; ROCHA, M. O.; CHAVES, M. V. **Patologia em Revestimento Cerâmico de Fachada**. Curso de Pós-Graduação do CECON, Belo Horizonte, 2002.
- [13] THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989.
- [14] MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Pini, 2007.
- [15] HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2a ed - São Paulo: PINI, 1992.
- [16] NAZARIO, D.; ZANCAN, E. C. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal e Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde**. Santa Catarina, 2011.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. Rio de Janeiro, 2020.
- [18] MATOS, F. M.C. **Baixa pombalina: a problemática alteração dos lençóis freáticos**. Lisboa, 2013.
- [19] NUNES, J. S.; ALVARENGA, M. C. S. **Avaliação da qualidade de mão de obra, projetos e fiscalização em obras de construção civil**. Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC. Minas Gerais. 2018.
- [20] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto, estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, PINI p. 174, 1993.
- [21] ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. Porto Alegre, 1997.
- [22] Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná – **BOLETIM SIMEPAR**. Acesso em: 15 set 2021.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16280: Reforma em edificações – Sistema de gestão de reformas - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014.
- [24] FLORES-COLEN. I.; BRITTO, J. A systematic approach for maintenance budgeting of buildings façades based on predictive and preventive strategies. **Construction and Building Materials**, V. 24, pp. 1718-1729, 2010.
- [25] MISHRA, S.; VANLI, O. A.; KAKAREKO, G.; JUNG, S. Preventive maintenance of wood-framed buildings for hurricane preparedness. **Structural Safety**, V. 76, pp. 28-39, 2019.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e vida útil

LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO DA PONTE SOBRE O RIO BARIGUI (LE)

TRINDADE, Gabriel Ardigó¹; ROCCO, Leonard Bressiani Vieira²; NOSSE, Natallie Kawane³; CAPRARO, Ana Paula Brandão⁴

¹ Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, gabrieltrindade211@gmail.com, 0000-0001-8944-0245

² Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, leonardbvderocco@yahoo.com.br, 0000-0001-7511-4588

³ Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, natalliekawanenosse@gmail.com, 0000-0002-1101-8471

⁴ Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, anapcararo@gmail.com, 0000-0001-6270-6568

RESUMO

A inspeção de obras de arte especiais é uma atividade que tem por objetivo principal identificar e classificar eventuais anomalias que tendem a surgir nessas estruturas, afetando a funcionalidade ou colocando a durabilidade das mesmas em risco. Este estudo de caso teve por objetivo identificar e analisar as manifestações patológicas presentes em uma ponte, localizada sobre o Rio Barigui, e ainda, por meio da NBR 9452, classificar seu estado de conservação, estabelecendo uma nota de 1 (crítica) a 5 (excelente). O estudo ainda visou indicar ações preventivas contra possíveis falhas e meios de recuperação em função da gravidade observada. O estudo apontou que a Obra de Arte Especial (OAE) recebeu a nota 4 (Boa) perante a sua condição de estabilidade apresentada e nota 3 (Boa aparentemente) para sua condição de conservação. Concluiu-se que no objeto de estudo deste trabalho não foram encontradas manifestações expressivas ou que demonstrassem sinais de colapso pela inspeção visual. A ponte analisada necessita da continuidade de inspeções rotineiras, a fim de identificar em tempo hábil um agravamento das manifestações.

Palavras-chave: Manifestações Patológicas; Ponte; Inspeção; Recuperação.

ABSTRACT

The special structures inspection is an activity whose main objective is to identify and classify any anomalies that these structures, affecting their functionality or putting their durability at risk. The study aimed to identify and analyze the pathological manifestations present in a bridge, located over the Barigui River, and also, NBR 9452 classify its state of conservation, establishing a grade of 1 (critical) to 5 (excellent). The study also aimed to indicate preventive actions against possible failures and means of recovery depending on the severity observed. The study pointed out that the bridge received grade 4 (Good) for its stability condition presented and grade 3 (Good apparently) for its conservation condition. It was concluded that in the object of study of this work there were no expressive manifestations or that showed signs of collapse by visual inspection. The bridge analyzed needs the continuity of routine inspections, in order to identify in a timely manner a worsening of the manifestations.

Keywords: Pathological Manifestations; Bridge; Inspection; Recovery.

1. INTRODUÇÃO

As pontes e viadutos, denominados no meio técnico como obras de arte especiais (OAE), são obras de engenharia de extrema importância no desenvolvimento econômico e social do país [1]. Pontilhões, pontes e viadutos representam grande parte dessas obras viárias, que tem por maior objetivo transpor interferências, como rios, ruas e avenidas.

Assim como qualquer outra construção, pontes e viadutos também estão sujeitas a intempéries, cargas móveis, variações de temperatura e ações da água. Obras de artes especiais podem apresentar diversas manifestações patológicas, sendo as mais comuns: fissuras, deterioração do concreto, corrosão da armadura, carbonatação, eflorescência e reação álcali-agregado [2].

Em prol de se obter a segurança necessária sobre as pontes, torna-se importante realizar uma inspeção preventiva a fim de se manter padrões de funcionalidade e segurança dos elementos de estabilidade e conservação da OAE. Segundo Medeiros et al. [3], pontes, viadutos e outras edificações necessitam de ações preventivas para que não se tornem vulneráveis a agentes internos e externos, podendo colocar em risco as condições estruturais da OAE.

Portanto, controlar suas anomalias evita intervenções maiores futuramente, sendo de fundamental importância a aplicação de um método no qual se faça inspeções rotineiras a fim de detectar os mecanismos degradantes e montar uma estratégia de controle a partir de dados coletados, podendo limitar seu uso ou sua interdição em casos extremos.

Com isso, o objetivo deste estudo de caso foi a análise das principais manifestações patológicas na Ponte sobre o Rio Barigui (LE), localizada no km 596,93 da BR-376, em Curitiba-PR, classificando o grau de risco causado, seguindo a NBR 9452 [4]. O estudo ainda visou a indicação de ações preventivas contra possíveis falhas e medidas de reparo e reforço da estrutura em uma ponte de concreto armado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Denomina-se ponte a obra destinada à transposição de obstáculos, à continuidade do leito normal de uma via, tais como rios, braços de mar, vales profundos, outras vias etc. Quando a ponte tem por objetivo a transposição de vales, outras vias ou obstáculos em geral não constituídos por água é, comumente, denominada “viaduto” [5].

As pontes, também chamadas de obras de arte especial (juntamente a viadutos, passarelas, túneis, etc.), são classificadas assim pela necessidade de maior especialização e capacitação na metodologia construtiva [6].

Segundo Vitório [7], as pontes em geral são compostas dos seguintes elementos: superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, como apresentado na Figura 1.

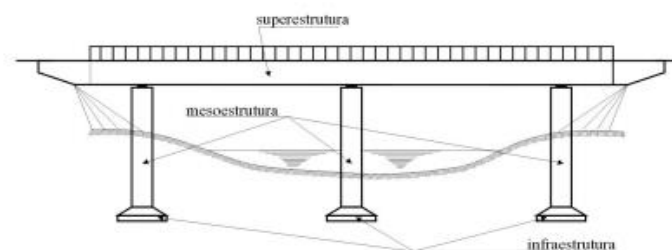


Figura 1 - Elementos componentes de uma ponte. Fonte: Vitório [7].

Para Nazário e Zancan [8], a engenharia usa o termo patologia para o estudo das anomalias em construções, suas origens, seus mecanismos de ocorrência das falhas e seus defeitos que alteram o aspecto estrutural e visual de uma edificação.

Segundo Cánovas [9], a patologia é a parte da engenharia que estuda os mecanismos, os sintomas, as causas e origens dos defeitos das obras. Em alguns casos, é possível se fazer um diagnóstico das manifestações patológicas apenas através da visualização. Entretanto, segundo o mesmo autor, em outros casos o problema é mais complexo, sendo necessário verificar o projeto, investigar as cargas a que foi submetida à estrutura; analisar detalhadamente a forma como foi executada a obra e, inclusive, como esta manifestação patológica reage diante de determinados estímulos. Dessa forma, é possível identificar a causa destes problemas, corrigindo-os para não se manifestarem novamente.

As estruturas podem apresentar desempenho insatisfatório devido a diversos fatores, a saber: má utilização dos materiais, falta de perícias, erros na concepção do projeto, falhas na execução do projeto, perda de capacidade resistente com o passar do tempo, perda da capacidade resistente devido a reações químicas entre seus componentes internos e fatores externos, entre outros, provocando assim o surgimento de danos [10].

A corrosão da armadura e a existência de fissuras de origem mecânica, constituem, de modo geral, as formas mais comuns de manifestações patológicas em estruturas de obras de arte especiais [11]. Os principais fenômenos químicos que ocorrem em estruturas de concreto armado são reações, ataques de sulfatos e cloretos, carbonatação e lixiviação [12].

Conhecidas e estimadas as características de deterioração dos materiais e dos sistemas estruturais é possível conceituar durabilidade como sendo a capacidade de a estrutura resistir a estas características, sem deteriorar-se, apresentando um desempenho satisfatório, o qual determinará a vida útil [13]. Sendo a estrutura durável a que apresenta a capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração imposta a ela [14].

2.1 Principais mecanismos degradação

Para Vitório [7], as estruturas das pontes, assim como os seres humanos, podem sofrer os efeitos de males congênitos e adquiridos, são vulneráveis a acidentes e também deterioram-se e debilitam-se com o passar do tempo.

As causas dos processos de deterioração das estruturas de concreto podem ser divididas entre intrínsecas e extrínsecas. As causas intrínsecas são as causas de deterioração inerentes à própria estrutura. Possuem origem nos materiais e componentes da estrutura. Estas causas são geradas por falhas humanas na fase de execução e/ou utilização e por agentes naturais externos como ataques químicos e até acidentes [14], outras causas que também podem afetar a estrutura em si são: uma má formulação do concreto, tempo mínimo de cura não respeitado ou condições de cura adversas.

Já as causas extrínsecas, são as que independem da estrutura em si, bem como da sua composição ou falhas decorrentes da execução. Podem ser entendidas como fatores que atacam estruturas “de fora para dentro” ao longo do processo da concepção, execução ou da vida útil da mesma [15].

2.2 Principais manifestações patológicas

As anomalias alteram a capacidade de o material desempenhar suas funções. Os sintomas de anomalia podem surgir na estrutura de concreto armado através de fissuração, destacamento, desagregação e corrosão na armadura. Esses sintomas podem surgir isolados ou simultâneos [10].

A corrosão pode ser definida como sendo um processo resultante da interação de um material com o meio ambiente, acarretando reações de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas, levando a destruição do material em questão. Nas armaduras em concreto, este problema se manifesta em manchas superficiais, fissuras, destacamento do revestimento de concreto da ferragem e perda de massa das armaduras, resultando em redução na seção de seus componentes [16], como apresenta a Figura 2.



Figura 2 – Corrosão na armadura. Fonte: Macedo [17].

Segundo Vitório [7], a carbonatação é uma causa muito frequente da corrosão de estruturas de concreto armado. Neste mecanismo degradante, o hidróxido de cálcio reage com o CO_2 , produzindo carbonato de cálcio, esse último com pH inferior.

A redução do pH, causada pela reação química deletéria, torna-o mais ácido, o que é um problema para estruturas de concreto armado, pois, em um ambiente alcalino (básico) - pH variando de 12 a 13 -, as armaduras estão protegidas da corrosão. Com valores mais baixos, na ordem de 9,5, tem-se o início do processo de oxidação da armadura, começando a surgir, depois de algum tempo, fissuras e desprendimentos da camada de cobrimento [7].

Para Costa [10], a contaminação do concreto por emprego de aditivos a base de cloretos, ou pela penetração de cloretos devido ao ambiente ocorrem geralmente em áreas litorâneas e/ou em peças pré-moldadas onde pretende-se acelerar a cura com aditivos a base de cloretos. Os danos variam entre fissuras próximas as armaduras e manchas devido a retenção de umidade.

De acordo com o Manual de inspeções de pontes rodoviárias DNIT [18], os cloretos podem ter sua origem no cloreto de sódio, conhecido como sal de cozinha, existente em regiões marinhas, no próprio cimento utilizado, nos aditivos, nos agregados mal lavados, na água da mistura e na água usada na cura do concreto. Quando a camada protetora é rompida, a armadura pode sofrer corrosão, que é um fenômeno eletro-químico; a corrosão do aço produz óxido de ferro e hidróxido de ferro, que têm um volume muito maior que a armadura original, não afetada.

Segundo Souza e Ripper [15], a lixiviação consiste no processo de dissolução e arraste do hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presente na pasta de cimento Portland endurecido (liberado na hidratação), que vai em direção a superfície externa do elemento através da passagem da água pela estrutura. Este processo faz com que ocorra uma reação química de remoção destes compostos hidratados, reduzindo o pH do concreto. Ainda segundo Souza e Ripper [15], a lixiviação é o mecanismo degradante que dá origem à eflorescência, sendo essa uma manifestação patológica. A mesma tem coloração esbranquiçada, e é localizada na superfície do elemento de concreto afetado, como mostra a Figura 3. Este fenômeno torna o concreto mais poroso, dando espaço para a deposição de outros hidratados presentes no concreto, o que gera o enfraquecimento do concreto e a suscetibilidade da armadura ao processo corrosivo.



Figura 3 - Lixiviação em ponte de concreto armado. Fonte: Macedo [17].

De acordo com Neville e Brooks [19], a reação álcali agregado pode ocorrer entre agregados de calcário dolomítico e os álcalis do cimento. As reações expansivas são quase sempre associadas a presença de argila e a incerteza sobre o efeito

pozolânico no controle da substância. Como a reação regenera os hidróxidos alcalinos, a reação terá continuidade até que a dolomita tenha reagido por completo ou que a fonte de álcalis se esgote, deteriorando o concreto de forma constante.

De acordo com Souza e Ripper [15], as fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo o dano de ocorrência mais comum e aquele que, a par das deformações muito acentuadas, mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários, como identificado na Figura 4.

Segundo Sartorti [14], o quadro fissuratório pode ter a sua origem de diversos fatores, sendo a seguir listados os mais comuns:

- i. Fissuras de tração pelo esforço de flexão;
- ii. Fissuras de compressão pelo esforço de flexão;
- iii. Fissuras causadas pelo esforço cortante;
- iv. Fissuras causadas pela torção;
- v. Esforços causadas pela fluência;
- vi. Fissuras causadas pela retração;
- vii. Fissuras causadas por deformações térmicas e higroscópicas.



Figura 4 - Fissura de tração no encontro. Fonte: Quaresma e Cardoso [20].

A desagregação do concreto é a deterioração, por separação de partes do concreto, provocada, em geral, pela expansão devido à oxidação ou dilatação das armaduras, e também pelo aumento de volume do concreto quando este absorve água. Pode ocorrer também devido às movimentações estruturais e choques [7]. Segundo o Manual de inspeções de pontes rodoviárias DNIT [18], nesse tipo de manifestação, o cimento vai perdendo seu caráter aglomerante, ficando, conseqüentemente, os agregados livres da união que a pasta lhes proporciona, como mostra a Figura 5.



Figura 5 - Desagregação do concreto na base do pilar. Fonte: Silva [21].

2.3 Principais tipos de inspeção

Segundo a ABNT NBR 9452 [4], os tipos de inspeções que devem ser considerados são: cadastral, rotineira, especial e extraordinária.

De acordo com o Manual de inspeções de pontes rodoviárias DNIT [18], a inspeção cadastral é a primeira inspeção da obra e deve ser efetuada imediatamente após sua conclusão ou assim que ela se incorpora no sistema viário; é também a inspeção que deve ser feita quando há uma alteração sensível na configuração da obra, tais como alargamentos, acréscimos de comprimentos, reforços, mudança no sistema estrutural. A Inspeção Cadastral é uma inspeção amplamente documentada, não só pelos próprios dados da inspeção, mas também pelo projeto completo e por todos os informes construtivos disponíveis.

A Inspeção Cadastral fica registrada em um amplo Documentário Fotográfico e com o preenchimento da Ficha Cadastral. Para a NBR 9452 [4], a inspeção rotineira é a inspeção de acompanhamento periódico, visual, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, realizado em prazo não superior a um ano. Na inspeção rotineira deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências, reparos e/ou recuperações efetuadas no período.

Segundo a Norma DNIT 010 [18], as Inspeções Especiais são basicamente inspeções visuais pormenorizadas, realizadas em intervalos não superiores a cinco anos e comandadas por um inspetor sênior; as partes de difícil acesso serão examinadas através de lunetas, andaimes ou veículos especiais dotados de lança e gôndolas. Pode, ainda, ser necessário complementar as observações e medições convencionais com medidas de flechas e deformações, efetuadas com instrumental de precisão. As Inspeções Especiais devem ser realizadas quando:

- a Inspeção Cadastral ou a Inspeção Rotineira revelar defeitos graves ou críticos na estrutura da obra;
- em pontes que se distinguem por seu vulto ou complexidade, em intervalos regulares e não superiores a cinco anos e em substituição às Inspeções Rotineiras;
- em ocasiões especiais, como antes e durante a passagem de cargas excepcionais.

Segundo a NBR 9452 [4], a inspeção extraordinária é gerada por uma das demandas não programadas a seguir, associadas ou não:

- necessidade de avaliar com mais critérios um elemento ou parte da OAE, podendo ou não ser gerada por inspeção anterior;
- ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação na obra
- ocorrência de eventos da natureza tais como: inundação, vendaval, sismo e outros.

3. METODOLOGIA

A Ponte sobre o Rio Barigui (LE), objeto deste estudo, está localizada no km 596,93 da BR-376, em Curitiba-PR. A ponte é de concreto armado, formada por um tabuleiro de 80,00 metros de comprimento e 12,50 metros de largura. A estrutura conta com 8 pilares, sendo duas linhas de 4 pilares, com 5 vãos, conforme croqui de inspeção indicado na Figura 6.

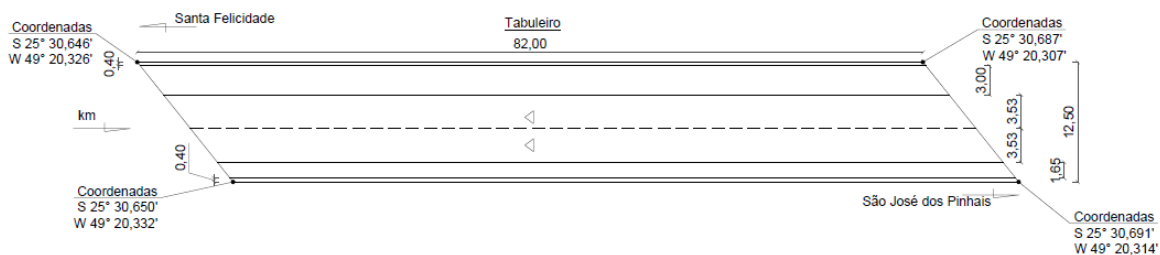


Figura 6 - Croqui do Tabuleiro da ponte.

A OAE é via única, sentido Santa Felicidade, tendo duas vias, com barreira New Jersey e acostamentos em ambos os lados da OAE. As condições ambientais da região originam diversas formas de manifestações patológicas, o que contribui

para a diminuição da vida útil, trazendo riscos aos usuários que trafegam sobre a ponte. A classe de agressividade ambiental está relacionada às ações físicas e químicas que ocorrem sobre as estruturas de concreto. Segundo critério da norma NBR 6118 [13], a ponte em estudo apresenta agressividade moderada (Classe II), por se tratar de uma zona urbana.

Para a escolha da OAE, foi levado em conta a idade da ponte, que de acordo com dados obtidos no site do DNIT é de 36 anos (construída em 1985), a facilidade de deslocamento e o fácil acesso, sendo estes fatores para a aplicação desta metodologia neste estudo de caso.

A Figura 7 mostra uma imagem de satélite para obter uma localização da estrutura estudada.

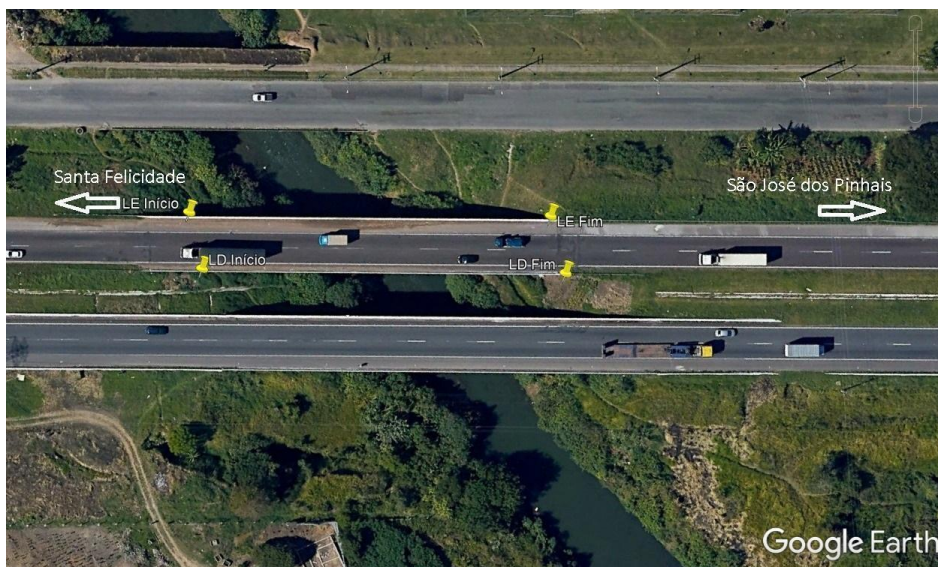


Figura 7 - Imagem de satélite da ponte objeto de estudo. Fonte: Google Earth (2021).

Na Tabela 1 é possível verificar as informações sobre dimensões e localização da ponte.

Tabela 1 - Dimensões e localização da ponte.

| Dimensões (m) | | Coordenadas Geográficas | | |
|---------------|-------------|-------------------------|-------------|----------|
| Largura | Comprimento | Latitude | Longitude | Altitude |
| 12,5 | 80 | 25°30.650'S | 49°20.332'O | 887,0 m |

3.1 Classificação da pesquisa

Este estudo teve como finalidade pesquisar e coletar dados de manifestações patológicas na OAE. Sendo assim, caracterizou-se como um estudo de caso.

A pesquisa pode ser classificada como descritiva com cunho avaliativo, visto que foi feita a descrição dos danos causados nos elementos da ponte, incluindo super e mesoestrutura e também foi feita uma interpretação das manifestações patológicas na estrutura, atribuindo notas através da NBR 9452 [4].

3.2 Procedimento de coleta e interpretação dos dados

Por meio de um acervo fotográfico da OAE datado de 26/02/2021, disponibilizado pela empresa Engefoto Engenharia e Aerolevantamentos, foi feita uma análise detalhada de cada manifestação patológica encontrada na ponte, incluindo super e mesoestrutura, e indicada por meio de um croqui. Em seguida, realizou-se uma análise dos resultados de inspeções em conformidade com a NBR 9452 [4], vide Tabela 2, em que estabelece uma nota de 1 (crítica) a 5 (excelente), em cada elemento, de acordo com a caracterização estrutural, funcional e de durabilidade.

Tabela 2 - Classificação da condição da OAE segundo os parâmetros estruturais. Fonte: Adaptado de NBR 9452 [4].

| Nota | Condição | Característica |
|------|-----------|--|
| 5 | Excelente | A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados |
| 4 | Boa | A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural |
| 3 | Regular | Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Intervenções podem ser necessárias em médio prazo |
| 2 | Ruim | Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas em curto prazo |
| 1 | Crítica | Há danos que geram grave insuficiência estrutural da OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita de intervenção imediata, podendo ser necessária a interdição total ou parcial do tráfego |

3.3 Análise dos dados e conclusão

De acordo com o procedimento adotado durante o estudo, após a identificação dos danos, os mesmos foram analisados e avaliados, definindo as devidas notas e meios de recuperação em função da gravidade. Assim sendo, foi possível descrever a OAE através de um relatório.

O levantamento quantitativo das manifestações patológicas foi realizado através de proporções, em área, de cada elemento estrutural da ponte.

4. RESULTADOS

Foi desenvolvido um croqui detalhado, com as características gerais da OAE, conforme mostrado nas Figura 8 e 9.

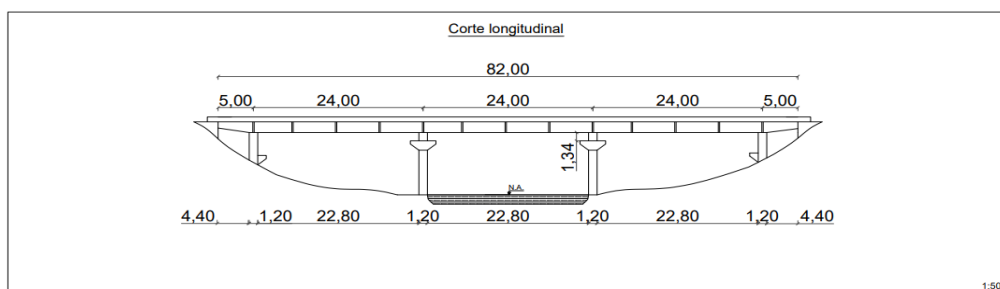


Figura 8 - Croqui de Detalhamento da OAE - Corte Longitudinal.

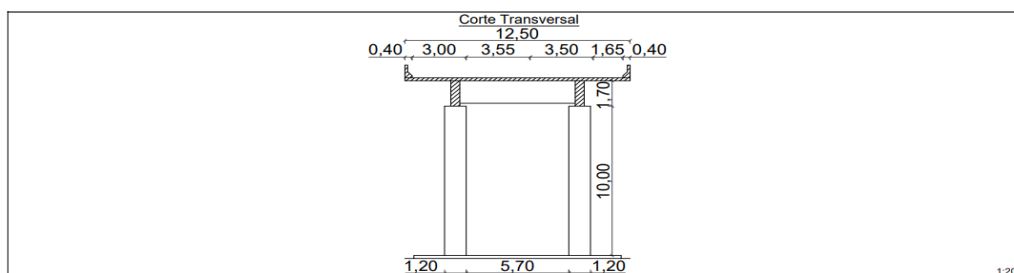




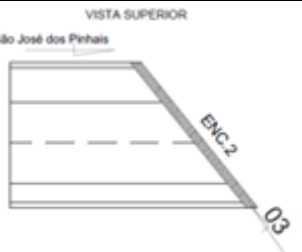

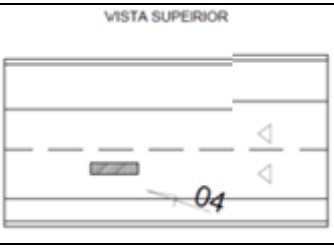




Figura 9 - Croqui de Detalhamento da OAE - Corte Transversal.


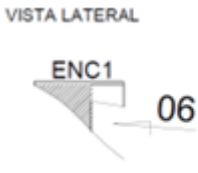
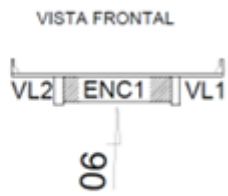

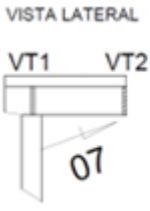
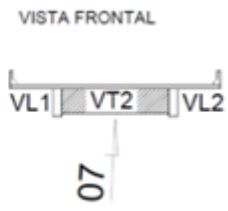

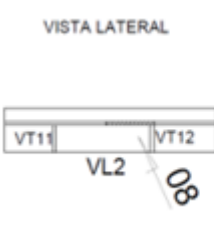
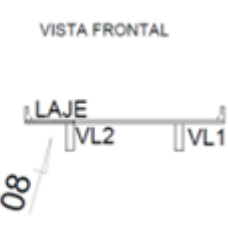

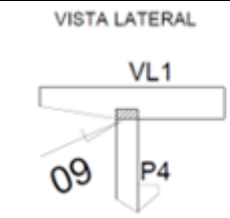
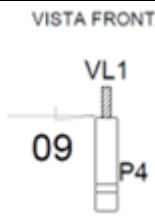

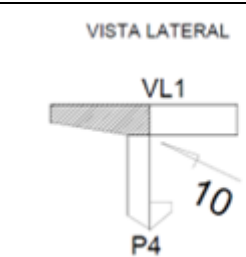
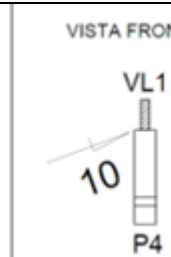

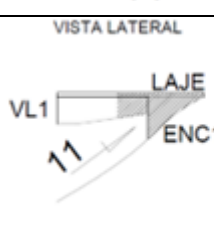
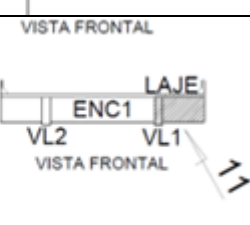
Nas imagens é possível observar tanto o corte longitudinal (Figura 8), quanto o corte transversal (Figura 9), assim como todas as suas medidas, que serviram de base para se ter uma proporção dos tamanhos de cada manifestação patológica na OAE.

No Quadro 1 estão apresentadas as imagens da inspeção visual, o croqui de detalhamento e as manifestações patológicas levantadas durante a inspeção da OAE junto com as suas devidas localizações, as quais foram hachuradas para uma melhor compreensão.


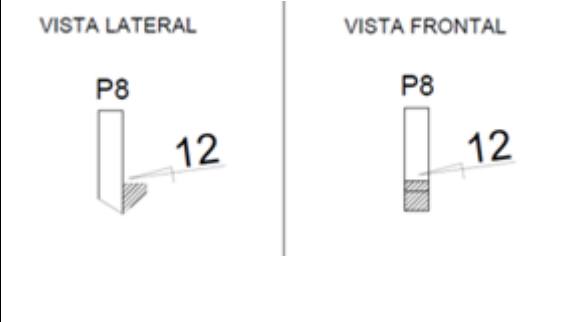
Quadro 1 - Identificação e Inspeção Visual.

| Número | Foto | Detalhamento | Descrição |
|--------|---|--|---|
| 01 |  | - | Placa da OAE |
| 02 |  |  | Junta de dilatação e pavimento danificado no Encontro 1 |
| 03 |  |  | Junta de dilatação e pavimento danificado no Encontro 2 |
| 04 |  |  | Pavimento Danificado |
| 05 |  |  | Quebra localizada na Barreira New Jersey |

Quadro 1 - Identificação e Inspeção Visual (continuação).

| Número | Foto | Detalhamento | | Descrição |
|--------|---|--|---|--|
| 06 |  | VISTA LATERAL  | VISTA FRONTAL  | Encontro 2, lixiviação no encontro e cortina, erosão no aterro de acesso e umidade na laje |
| 07 |  | VISTA LATERAL  | VISTA FRONTAL  | Vista inferior da OAE, mancha de fogo na transversina VT2 |
| 08 |  | VISTA LATERAL  | VISTA FRONTAL  | Mancha de umidade, lixiviação na laje em balanço lado direito |
| 09 |  | VISTA LATERAL  | VISTA FRONTAL  | Nicho de concretagem na longarina VL1 |
| 10 |  | VISTA LATERAL  | VISTA FRONTAL  | Aparelho de apoio danificado por esmagamento, mancha de fogo na longarina VL1 |
| 11 |  | VISTA LATERAL  | VISTA FRONTAL  | Mancha de fogo na laje, longarina e encontro cortina |

Quadro 1 - Identificação e Inspeção Visual (continuação).

| Número | Foto | Detalhamento | Descrição |
|--------|---|--|-------------------------------------|
| 12 |  |  | Deslocamento no consolo do pilar P8 |

Após a análise das anomalias apontadas na Quadro 1 foram compiladas as manifestações patológicas observadas na OAE, listadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Manifestações Patológicas Encontradas.

| Numeração | Manifestação Patológica |
|-----------|---|
| 1 | Deslocamento de concreto com armadura exposta |
| 2 | Lixiviação e mancha de carbonatação |
| 3 | Manchas de fogo |
| 4 | Manchas de umidade |
| 5 | Nichos de concretagem |
| 6 | Pavimento asfáltico danificado |
| 7 | Junta de dilatação danificada |
| 8 | Aparelho de apoio danificado |
| 9 | Erosão no aterro |
| 10 | Quebra localizada |

De acordo com o levantamento fotográfico, foi possível descrever a localização de cada dano encontrado na OAE, conforme indicado na Figura 10.

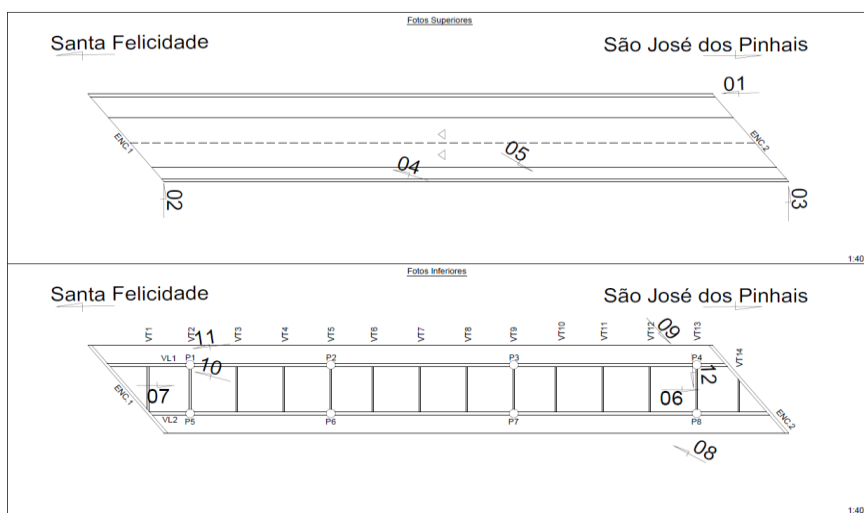


Figura 10 – Croqui de Indicação Fotográfica.

Foram medidos e avaliados, conforme a ABNT NBR 9452 [4], os danos em cada elemento e sua respectiva nota e quantidade, conforme as Tabelas 5 e 6. Os danos foram numerados de acordo com a Tabela 4. As quantidades de cada dano foram obtidas de forma proporcional às medidas de cada elemento contido na OAE.

Os elementos de mesoestrutura e superestrutura foram analisados separadamente, e atribuída à nota de acordo com a sua funcionalidade, conforme a Tabela 6.

Tabela 5 – Danos aos Elementos.

| Elemento | Dano | Localização | Quantidade |
|--|------|-----------------------------|----------------------|
| Laje de concreto armado | 2 | Balanço LD | 0,25 m ² |
| Laje de concreto armado | 3 | Balanço LE | 2,50 m ² |
| Laje de concreto armado | 4 | Balanço LD | 1,50 m ² |
| Viga T ou I de concreto armado | 3 | VL1 | 2,00 m ² |
| Viga T ou I de concreto armado | 5 | VL1 | 0,05 m ² |
| Transversina portante de concreto armado | 3 | VT2 | 2,00 m ² |
| Pilar em colunas de concreto armado | 1 | P8 | 0,10 m ² |
| Encontro – Cortina de concreto armado | 2 | Encontro 2 | 5,00 m ² |
| Encontro – Cortina de concreto armado | 3 | Encontro 1 | 1,50 m ² |
| Pavimento asfáltico | 6 | Encontro 1 e 2, meio da OAE | 9,00 m ² |
| Barreira New Jersey | 1 | Lateral direita | 0,50 m ² |
| Aterro de acesso | 9 | Encontro 2 | 0,30 m ² |
| Junta de dilatação | 7 | Encontro 1 e 2 | 25,00 m ² |

Tabela 6 – Nota Atribuída.

| Elemento | Nota |
|--|------|
| Laje de concreto armado | 4 |
| Viga T ou I de concreto armado | 4 |
| Transversina portante de concreto armado | 4 |
| Pilar em colunas de concreto armado | 4 |
| Encontro – Cortina de concreto armado | 4 |
| Pavimento asfáltico | 4 |
| Barreira New Jersey | 4 |
| Aterro de acesso | 3 |
| Junta de dilatação | 4 |

A OAE recebeu a nota 4 (Boa) perante a sua condição de estabilidade apresentada e nota 3 (Boa aparentemente) para sua condição de conservação, levando em consideração os critérios da NBR 9452 [4], ou seja, a nota global foi dada pela menor nota atribuída devido a condição de estabilidade.

De acordo com a Tabela 7, após identificar todas as manifestações patológicas encontradas, foram indicadas medidas corretivas para cada uma delas.

Tabela 7 – Manifestações Patológicas e Medidas Corretivas.

| Item | Manifestação Patológica | Soluções corretivas |
|------|---|---|
| 1 | Deslocamento de concreto com armadura exposta | Remover o concreto segregado até atingir o concreto em bom estado, limpar bem as superfícies e fazer reparos com argamassas de reparação [22]. |
| 2 | Lixiviação e mancha de carbonatação | Instalação de buzínates, como indica o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários do DNIT [23]. Também, limpeza do sistema de drenagem, assim como, a recuperação pontual das manchas causadas pelo dano. |
| 3 | Manchas de fogo | Vistorias periódicas e limpeza dos pontos de manchamento [14]. |
| 4 | Manchas de umidade | Reparo no sistema de drenagem e limpeza dos pontos [24]. |
| 5 | Nichos de concretagem | Repor o montante de concreto extraído com outro volume do mesmo material ou um novo produto, que deve apresentar qualidade e resistência iguais ou superiores [25]. |
| 6 | Pavimento Asfáltico | Técnicas de recuperação superficial ou capa selante [14]. |
| 7 | Junta de dilatação danificada | O recomendado seria a limpeza e reparo dos materiais danificados para devolver o funcionamento [20]. |
| 8 | Aparelho de apoio danificado | O recomendado seria a manutenção ou a substituição do aparelho de apoio [20]. |
| 9 | Erosão do aterro | Fazer a devida proteção da área e adequação do sistema de drenagem [7]. |
| 10 | Quebra localizada | A recuperação é artesanal; eventualmente é preferível, em trechos muito deteriorados, providenciar sua integral substituição [26]. |

5. CONCLUSÕES

As manifestações patológicas em pontes de concreto sinalizam o problema e dependendo da sua tipologia e intensidade, são capazes de informar a necessidade de uma manutenção ou de um reforço estrutural.

Para o objeto de estudo deste trabalho, não foram encontradas manifestações expressivas ou que demonstre sinais de colapso pela inspeção visual. Os danos encontrados em maior quantidade na OAE foram as manchas de fogo e a lixiviação.

Pode-se afirmar que o processo de inspeção constitui uma etapa fundamental da manutenção de uma estrutura e deve-se considerar a especificidade de cada uma. Dessa forma, é necessária uma descrição minuciosa de todas as regiões da ponte à medida que há diferentes ocorrências de manifestações patológicas ao longo da estrutura.

Com isso, é correto afirmar que a ponte analisada necessita da continuidade de inspeções rotineiras e de intervenção dos problemas encontrados para que estes não se agravem.

Portanto, não só do ponto de vista técnico, como também econômico, é apropriado intervenções corretivas para manter a segurança estrutural e a funcionalidade da obra, para não comprometer o bom funcionamento da via.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa fornecedora dos dados, Engefoto Engenharia, e a Universidade Positivo pela estrutura cedida a pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] ARAÚJO, C. J. R. V. **Engenharia de manutenção**. FNE. Brasília, 2019.
- [2] CARDOSO, L. B. **Análise das Manifestações Patológicas em pontes e viadutos no litoral do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2018.
- [3] MEDEIROS, A. G. et al. **Aplicação de metodologia de inspeção em ponte de concreto armado**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p.687-702, jul./set. 2020.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452/2019 – Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2019.
- [5] PFEIL, W. **Pontes em concreto armado: elementos de projetos, solicitações, dimensionamento**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.
- [6] VASCONCELOS, F. de O. **Análise das manifestações patológicas em pontes de concreto armado - Estudo de caso**. Campos do Sertão, 2018.
- [7] VITÓRIO, J. A. P. **Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão**. Recife, CREA-PE, 2002.
- [8] NAZARIO, D.; ZANCAN, E. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal de Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde**. Criciúma 2011. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/151>. Acesso em 10 de maio de 2021.
- [9] CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988.
- [10] COSTA, H. O. **Avaliação de Patologias em Obras de Arte Especiais utilizando a metodologia GDE/UNB**. Brasília, 2016.
- [11] LOURENÇO, M. V. C. **Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais**. Rio de Janeiro, 2009.
- [12] MASCARENHAS, Fernando J. R. **Patologias e inspeção de pontes em concreto armado: Estudo de caso da ponte Governador Magalhães Pinto**. Engevista, Minas Gerais, V. 21, n.2, p.288-302, Maio 2019. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/engevista/article/view/27125>. Acesso em 10 maio 2021
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- [14] SARTORTI, A. L. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP**. 205 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

- [15] SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.
- [16] SOARES, A. P. F.; VASCONCELOS, L. T.; NASCIMENTO, F. B. C. **Corrosão em armaduras de concreto**. Maceió, 2015.
- [17] MACEDO, J. V. et al. **Manifestações patológicas causadas pela umidade devido à falha ou ausência de impermeabilização: estudo de caso**. Pernambuco, 2017.
- [18] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 010/2004. Inspeções e pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.
- [19] NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- [20] QUARESMA, J. E.; CARDOSO, L. A. **Análise de manifestações patológicas em pontes e viadutos de concreto armado na cidade de São Paulo - SP**. Araraquara, 2016.
- [21] SILVA, L. B. C. S. **Análise de patologias e inconformidades de obras de artes especiais em Uberlândia - MG**. Uberlândia, 2019.
- [22] HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª edição – São Paulo: Pini, 1992
- [23] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT) – “**Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários**”. Rio de Janeiro, 2010.
- [24] SOLANO, J. R. **Mapeamento de manifestações patológicas em ponte de concreto armado: Estudo de caso no município de Palmas – TO**. Palmas, 2019.
- [25] MATTOS, P. M. F. **Patologia estrutural em duas obras da ufpb e soluções de recuperação e reforço**. João Pessoa, 2015.
- [26] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – **DNIT 088/2006 - Dispositivos de segurança lateral: guarda-rodas, guarda-corpos e barreiras – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2006

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e vida útil

INVESTIGAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIO ELEVADO DE ÁGUA FRIA COM USO DE MANTA ASFÁLTICA

BENVINDO, Joquebede Guimarães¹; DIAS, Alisson Rodrigues de Oliveira²; OLIVEIRA, Yáscara Lopes de³

¹ Universidade Estadual do Piauí, Teresina-PI, Brasil, joquebedeguimaraes@gmail.com

² Universidade Estadual do Piauí, Teresina-PI, Brasil, alissondeoliveira@ctu.uespi.br, 0000-0002-9892-6834

³ Universidade Estadual do Piauí, Teresina-PI, Brasil, yascaralopes@ctu.uespi.br

RESUMO

A impermeabilização é uma das fases mais importantes da Construção Civil, porém, comumente negligenciada e executada através de conhecimentos empíricos e sem projetos específicos, se tornando um dos maiores responsáveis pelas patologias encontradas nas construções. Essa etapa é de suma importância, pois visa garantir a qualidade e o conforto da construção a longo prazo. Deste modo, a escolha correta dos métodos a serem utilizados em um projeto de impermeabilização tornam-se essenciais para preservar a qualidade e a vida útil de qualquer edificação, juntamente com a correta execução de cada um dos métodos. Este trabalho visa apresentar uma investigação das principais manifestações patológicas presentes em um reservatório elevado de água fria com uso de manta asfáltica, por meio da adoção metodológica de estudo de caso. Como resultado, foi possível constatar várias manifestações patológicas aparentes, entre elas o descascamento da manta asfáltica, justificando a importância de um excelente projeto para as áreas que necessitam serem impermeabilizadas, considerando o local e seu propósito construtivo para que o mesmo seja adequado para o local em questão, de modo a evitar transtornos e custos com possíveis reparos.

Palavras-chave: impermeabilização; inspeção; diagnóstico; durabilidade.

ABSTRACT

Waterproofing is one of the most important phases of Civil Construction, however, commonly neglected and performed through empirical knowledge and without specific projects, becoming one of the most responsible for the pathologies found in constructions. This step is of paramount importance, as it aims to ensure the quality and comfort of the construction in the long term. In this way, the correct choice of methods to be used in a waterproofing project becomes essential to preserve the quality and useful life of any building, along with the correct execution of each of the methods. This work aims to present an investigation of the main pathological manifestations present in an elevated reservoir of cold water using an asphalt blanket, through the methodological adoption of a case study. As a result, it was possible to verify several apparent pathological manifestations, among them the peeling of the asphalt blanket, justifying the importance of an excellent project for the areas that need to be waterproofed, considering the place and its constructive purpose so that it is suitable for the place. In question, in order to avoid inconvenience and costs with possible repairs.

Keywords: waterproofing; inspection; diagnosis; durability.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a presença indesejada de água em edificações é antiga. Como modo de adaptação, o homem passou a abrigar-se em cavernas para sua proteção, seja pelas chuvas e frio ou por causa dos animais. Assim, com o passar do tempo houve a percepção que a água infiltrava do solo e penetrava pelas paredes, tornando o ‘habitat’ insalubre [1].

Devido à maleabilidade e o alto poder de penetração da água, as infiltrações ainda são um desafio para a construção civil. É sabido, conforme Righi [1], que a água, o calor e a abrasão são os principais fatores de deterioração e depreciação das edificações. Tais fatores instigaram o combate à umidade, o que resultou no estudo e desenvolvimento da impermeabilização, processo de tornar determinada área ou material ou sistema estanque ou impermeável.

A estanqueidade à água visa garantir a não penetração da água em elementos da edificação, para que a habitação tenha uma qualidade e durabilidade maior [2]. De acordo com Trauzzola [3], impermeabilização é considerada uma barreira física, com a finalidade de evitar a percolação da água indesejável, ou de redirecioná-la para pontos de escoamento; além de proteger a estrutura contra a degradação resultante do intemperismo.

Portanto, a impermeabilização é uma fase muito importante da construção, visando garantir a qualidade e o conforto da estrutura à longo prazo e evitando o surgimento de diversas manifestações patológicas originadas por umidade e infiltrações.

Para a construção civil, é importante considerar as necessidades do cliente, os custos e prazos, sendo assim, há a constante necessidade de aperfeiçoar técnicas construtivas e descobrir novos métodos e materiais. No entanto, há uma enorme diferença entre as práticas recomendadas pela ABNT NBR 9574 [4], e o dia a dia das construções, o que ocasiona várias falhas que serão sentidas pelos proprietários e vão encarecer a obra, com manutenção e reformas para efetuarem as corretas adequações, além de diminuir a vida útil das edificações.

Portanto, este trabalho visa apresentar as manifestações patológicas presentes em um sistema de impermeabilização com manta asfáltica, por meio de um estudo de caso em um reservatório elevado de água fria situado em um condomínio empresarial na cidade de Teresina, Piauí.

2. ASPECTOS DA IMPERMEABILIZAÇÃO

De acordo com Arantes [5], a impermeabilização no Brasil iniciou-se com o óleo de baleia sendo utilizado na mistura de argamassas para assentar tijolos e revestir paredes que necessitavam desta proteção. No século XIX o Brasil também fez uso de impermeabilizações metálicas com chapas de cobre, uma metodologia vinda da Europa que foi utilizada até as primeiras décadas do século XX, este método pode ser visto nos teatros municipais do Rio de Janeiro e de São Paulo [6]. Com a evolução das obras, por volta de 1960, iniciaram os estudos para a criação do Metrô de São Paulo o que explicitou a necessidade de normas para impermeabilização, a partir disto a ABNT publicou a primeira norma brasileira de impermeabilização em 1975 e houve a fundação do IBI – Instituto Brasileiro de Impermeabilização [5].

2.1 Uso e durabilidade dos sistemas de impermeabilização

A norma NBR 9575 [7] define impermeabilização como: “produto resultante de um conjunto de componentes e elementos construtivos (serviços) que objetivam proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, de vapores e da umidade; produto (conjunto de componentes ou o elemento) resultante destes serviços”.

De acordo com Cruz [2], a impermeabilização tem também outra finalidade importante que é de dar proteção aos materiais construtivos da edificação contra sua possível degradação, resultante da presença de agentes agressivos como a água, umidade e vapores. Assim, a impermeabilização pode ser vista como meio de proteger a edificação de problemas patológicos futuros e ao intemperismo, visto que há grande desgaste em materiais na construção civil.

A NBR 9575 [7] estabelece que a impermeabilização projetada deve proteger as estruturas e os componentes construtivos que estejam expostos ao intemperismo, contra a ação de agentes agressivos presentes na atmosfera, além de proteger o meio ambiente de possíveis vazamentos ou contaminações e possibilitar sempre que possível a realização de manutenções da impermeabilização. A impermeabilização da estrutura deve ser projetada para perdurar durante o próprio período de vida útil previsto para a construção [8].

O tipo adequado de impermeabilização a ser empregado na construção civil deve ser determinado segundo a solicitação imposta pelo fluido nas partes construtivas que requeiram estanqueidade. Podendo ser imposta pela água de percolação, pela água de condensação, pela umidade do solo ou pelo fluido sob pressão unilateral, ou bilateral de acordo com a NBR 9575 [7]. Ainda segundo a norma, os sistemas de impermeabilização podem ser rígidos ou flexíveis, os rígidos são aqueles que resistem à pressões unilaterais e negativas, enquanto os flexíveis resistem às pressões unilaterais e positivas, para o caso de um reservatório elevado seria necessário o uso de um sistema flexível, logo durante este trabalho a ênfase será neste sistema de impermeabilização.

2.2 Sistemas de impermeabilização do tipo manta asfáltica

As mantas asfálticas, são membranas pré-fabricadas, produzidas a partir de asfaltos modificados com polímeros e armados com estruturantes especiais, sendo sua performance dependente da composição destes. O asfalto modificado que se encontra na manta é o responsável pela impermeabilização [1].

Conforme o programa Qualimat – Qualidade dos Materiais, que consiste na produção de cartilhas que trazem orientações sobre inspeção, manuseio e armazenamento de insumos para uma obra, do Sindicato da Construção Civil de Minas Gerais (SINDUSCON-MG), “devido à plasticidade do produto, seu uso é indicado para áreas molhadas, conforme previsto na ABNT NBR 15575-3, lajes, jardineiras, paredes de encostas, áreas frias e, especialmente, estruturas sujeitas à movimentação, vibrações, insolação e variações térmicas”, sendo a definição de áreas molhadas, como: áreas da edificação em que a condição de uso e de exposição poderá resultar na formação de lâmina de água (por exemplo, banheiro com chuveiro, área de serviço e áreas descobertas).

As mantas asfálticas são comumente encontradas em rolos e são classificadas, de acordo com a tração e o alongamento, em: tipo I, tipo II, tipo III e tipo IV. Com relação à flexibilidade a baixa temperatura são classificadas em três classes: Classe A, B e C. A Tabela 01 demonstra que cada modelo de manta asfáltica possui parâmetros de ensaio e a escolha de cada tipo depende das características da obra e estas devem ser especificadas em projeto.

Tabela 1 – Caracterização das mantas asfálticas de acordo com a NBR 9952/07 [9].

| ITEM | | TIPO | | | | |
|--|--|--|-------|-------|-------|-------|
| | | I | II | III | IV | |
| Espessura (mínimo) | | 3mm | 3mm | 3mm | 4mm | |
| Resistência à tração e alongamento - carga máxima (longitudinal e transversal) | Tração (mínimo) | 80N | 180N | 400N | 550N | |
| | Alongamento (mínimo) | 2% | 2% | 30% | 35% | |
| Absorção d'água - Variação em massa (máximo) | | 1,50% | 1,50% | 1,50% | 1,50% | |
| (1) Flexibilidade à baixa temperatura | Tipo | A | -10°C | -10° | -10°C | -10°C |
| | | B | -5°C | -5°C | -5°C | -5°C |
| | | C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Resistência ao impacto a 0°C (mínimo) | | 2,45J | 2,45J | 4,90J | 4,90J | |
| Escorrimento (mínimo) | | 95°C | 95°C | 95°C | 95°C | |
| Estabilidade dimensional (máximo) | | 1% | 1% | 1% | 1% | |
| Envelhecimento acelerado | Mantas asfálticas expostas | Os corpos-de-prova, após ensaio, não devem apresentar bolha, escorrimento, gretamento, separação dos constituintes, deslocamento ou delaminação. | | | | |
| | Mantas asfálticas protegidas ou autoprotégidas | | | | | |
| Flexibilidade após envelhecimento acelerado | Tipo | A | 0°C | 0°C | 0°C | 0°C |
| | | B | 5°C | 5°C | 5°C | 5°C |
| | | C | 10°C | 10°C | 10°C | 10°C |

As principais vantagens das mantas asfálticas, segundo Mello [10], são: espessura constante, fácil controle e fiscalização, aplicação do sistema de uma única vez, menor tempo de aplicação e não é necessário aguardar a secagem. Contudo, a manta asfáltica exige uma atenção voltada para suas emendas e uma mão de obra especializada para o manuseio do maçarico, haja visto seu uso durante a aplicação da manta, ainda segundo Mello.

2.3 Manifestações patológicas oriundas da falha dos sistemas de impermeabilização

A Figura 1 apresenta o resultado da pesquisa realizada por Antonelli [11], na qual as principais manifestações patológicas encontradas em uma edificação são quantificadas.

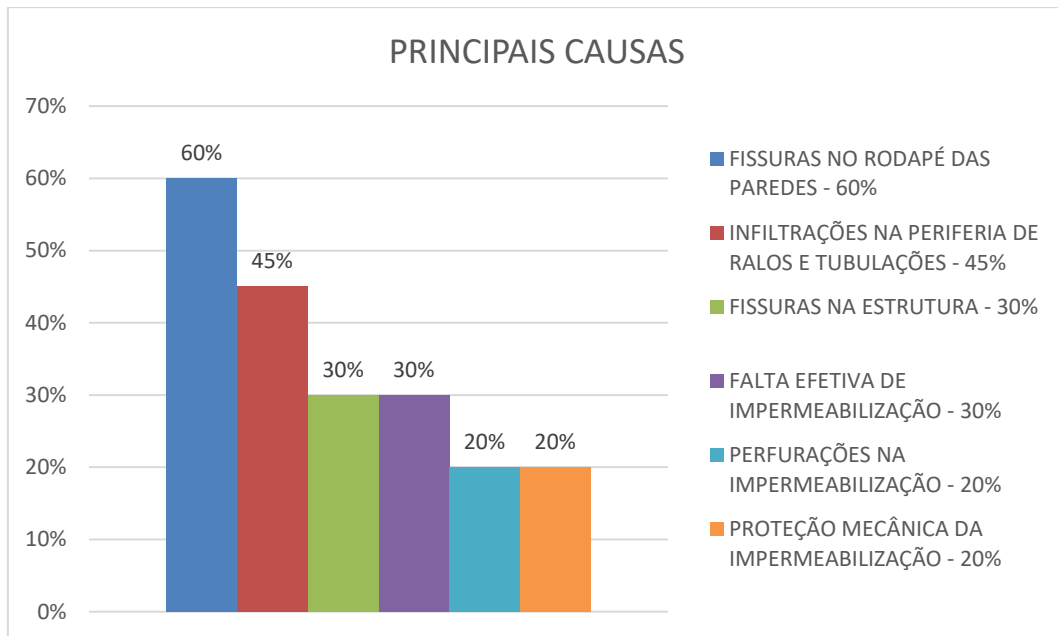


Figura 1 – Principais efeitos de problemas de impermeabilização [11].

Ainda segundo a pesquisa realizada por Antonelli [11], os problemas de impermeabilização mais comuns tem suas origens na etapa de projeto e na etapa de execução, conforme a Figura 2 demonstra.

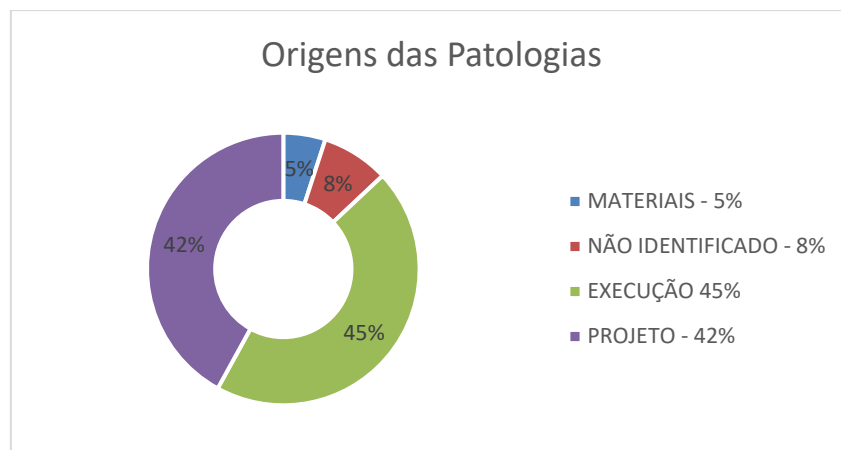


Figura 2 – Origens das manifestações patológicas [11].

Além destas origens, a falta de projetos e incompatibilidade com os demais projetos da edificação são responsáveis por 42% da origem das patologias oriundas da impermeabilização, podendo ser identificado em locais que deveriam ser impermeabilizados e não são e nos materiais especificados incorretamente [11].

Conforme Moraes [12], devido ao projeto, as origens dos defeitos podem ser originadas pelos seguintes fatores: ausência de projeto, especificação inadequada de materiais, falta de dimensionamento e previsão do número de coletores pluviais para escoamento d'água e interferência de outros projetos na impermeabilização.

Segundo Arantes [5], a falha nas montagens dos sistemas de impermeabilização, tópico que deve ser contemplado na elaboração do projeto, é o principal fator causador de fracassos nas impermeabilizações, mesmo com produtos de alto desempenho.

Vanni [13] afirmou que dentre as falhas ocasionadas por projetos, destacam-se: projetos incompletos, incompatibilidade dos diversos projetos, alterações nos projetos, conflitos entre os distintos projetos, falta de coordenação, tempo perdido em reuniões mal conduzidas, erros na especificação dos materiais, falta de detalhamento, dificuldades de interpretação da representação gráfica utilizada, planejamento inadequado e falta de padronização e construtibilidade.

Há diversas falhas que podem vir a prejudicar a interpretação de um projeto e acarretar problemas na impermeabilização da obra. Além dos erros de projeto, também existem os erros na execução do sistema impermeabilizante, esses erros estão diretamente ligados à duas equipes: a equipe de aplicadores dos sistemas impermeabilizantes e a equipe de construção civil, onde essas situações são de responsabilidade do empreiteiro responsável. Ainda, podem existir os erros de utilização, quando há alguma modificação do sistema previsto, acarretando na perfuração do sistema e falha de estanqueidade [14].

No Brasil, em grande parte das obras, há uma transmissão de métodos executivos a partir de conhecimentos empíricos, onde não há fundamentação teórica ou estudos, que acarretam sucessivos erros durante a execução de vários serviços durante a obra, incluindo o sistema impermeabilizante, que por muitas vezes o cliente não vê e nota seus defeitos apenas anos depois, se tornando uma vítima das más práticas e uma das partes mais prejudicadas desta imprudência [15].

3. METODOLOGIA

A metodologia deste artigo consistiu em um estudo de caso, no qual é apresentado as patologias advindas do sistema de impermeabilização atual em reservatórios elevados em um condomínio empresarial de Teresina, Piauí, o qual consiste no uso de manta asfáltica.

A problemática da pesquisa surgiu devido à necessidade de um condomínio empresarial custear uma limpeza periódica dos seus reservatórios a cada semestre e durante esta limpeza, notou-se que a impermeabilização aplicada em 1997, a qual foi a manta asfáltica não foi revestida após aplicada, tendo ficado em contato direto com a água nos últimos 24 anos. Em uma recente expansão do condomínio, em 2014 foi implementado mais um reservatório, sendo inaugurado em 2016 e mantendo como técnica de impermeabilização a manta asfáltica, onde 5 anos depois já foram sentidos o impacto desta decisão.

Como consequência deste projeto de impermeabilização, a manta começou a descascar e soltar parte do seu material, o qual entrou pelas tubulações e gerou obstruções e entupimentos, além de poluir a água do reservatório. O desgaste da manta também gerou transtornos como a infiltração em diversos pontos do reservatório visto que o mesmo se encontra parcialmente desprotegido devido a este desgaste.

A hipótese levantada consiste em apresentar as anomalias presentes nos reservatórios citados como meio de apresentar a importância do projeto de impermeabilização como meio de redução de gastos e problemas futuros.

3.1 Caracterização do empreendimento

O empreendimento analisado é do tipo comercial, constituído de um shopping center com mais de 300 lojas, aqui denominado condomínio empresarial. Foi utilizada a manta asfáltica, uma impermeabilização contra água de percolação com característica flexível. A Figura 3 contém uma vista superior do condomínio e a área hachurada de vermelho representa o reservatório estudado.



Figura 1 – Imagem de satélite do local de estudo.

O empreendimento foi inaugurado em 1997 e possui área bruta locável de mais de 70 mil m², além de 6 subestações de energia, duas centrais de refrigeração, várias casas de máquinas, uma galeria técnica e cerca de 300 funcionários que trabalham na administração do condomínio, além de possuir 6 reservatórios de água fria, cada qual com duas células, porém devido ter sido construído na década de 90 as técnicas que foram utilizadas para impermeabilização eram menos evoluídas, com materiais com menor desenvolvimento tecnológico que na atualidade.

3.1 Caracterização dos reservatórios de água fria e suas impermeabilizações

Com o crescimento da edificação estudada foi necessário a ampliação do prédio, o que ocasionou a construção de mais cinco reservatórios além do existente, totalizando seis reservatórios elevados de água fria, cada qual com duas células e impermeabilizado com manta asfáltica, conforme a Tabela 02 demonstra.

Tabela 2 – Reservatórios do condomínio empresarial estudado (em destaque o reservatório investigado).

| Reservatório | Capacidade (m ³) | Nº de células | Ano de construção | Sistema de impermeabilização |
|--------------|------------------------------|---------------|-------------------|------------------------------|
| 1 | 53,1 | 2 | 2014 | manta asfáltica |
| 2 | 119,84 | 2 | 2014 | manta asfáltica |
| 3 | 105,95 | 2 | 2014 | manta asfáltica |
| 4 | 175,22 | 2 | 2014 | manta asfáltica |
| 5 | 152,72 | 2 | 2014 | manta asfáltica |
| 6 | 199,56 | 2 | 1997 | manta asfáltica |

Durante a ampliação do condomínio em 2014, houve a construção do reservatório estudado (número 4), o qual tem capacidade de 175,22 m³, com duas células. A cisterna em questão armazena água fria, para consumo humano, foi impermeabilizada com manta asfáltica, a manta em seu contato direto com a água acaba por soltar sujidades na água, ocasionando uma despesa semestral de R\$ 2.000,00 reais, os quais são investidos na limpeza do reservatório através de uma empresa terceirizada que faz a higienização das caixas d'água, evidenciando diversos problemas e motivando a hipótese de substituição da manta asfáltica.

4. RESULTADOS

4.1 Anomalias encontradas no reservatório analisado

O reservatório estudado tem capacidade de 175,22m³, foi construído em 2014 e conta com duas células, porém devido ao contato direto com a água, em cerca de 7 anos, a manta do reservatório começou a se desprender das paredes, formando bolsas de ar e soltando partículas, os quais causam entupimentos nas tubulações. Além deste desconforto, a consequência direta da manta não estar fixa às paredes do reservatório é o surgimento de infiltrações, causando danos estruturais ao condomínio. Fatos estes que são apresentados nas Figuras 4 a 9.



Figura 4 – Descascamento da manta asfáltica estudada.



Figura 5 – Rasgos na manta asfáltica estudada.



Figura 6 – Danos da manta asfáltica estudada.



Figura 7 – Manta asfáltica da lateral do reservatório.

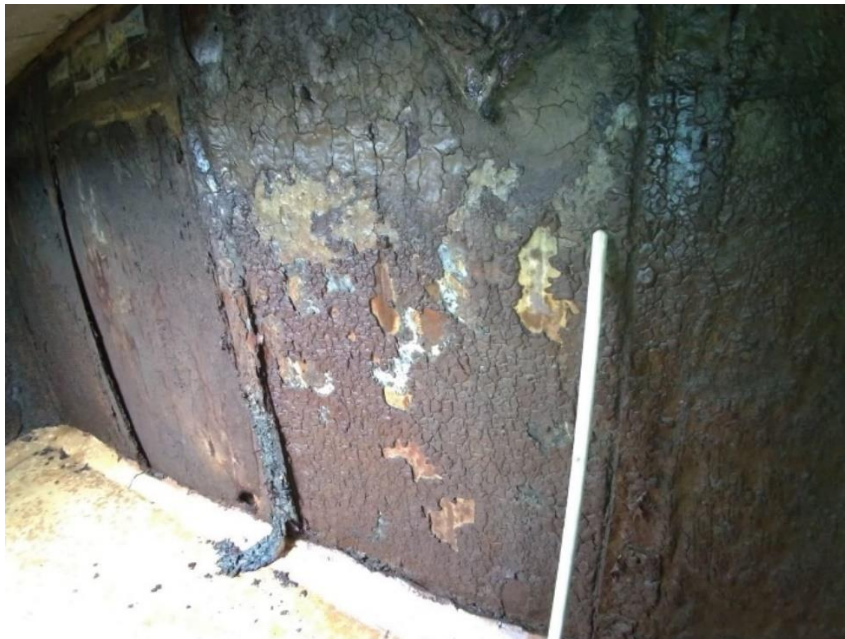


Figura 8 – Vista da impermeabilização da parede do reservatório.



Figura 9 – Detalhes da manta asfáltica do reservatório.

As evidências apontam problemas de execução que podem ser os causadores de manifestações patológicas. O término no plano vertical do peitoril pode causar a penetração da água por detrás da impermeabilização, já que esta, a longo prazo acaba afastando-se da parede [2].

Picchi [17] afirmou que fissuras representam 12% das manifestações patológicas, devido à pressa na execução das obras, bruscas reduções de custo e a falta de cuidado nos projetos e na execução da obra, conforme demonstrado no exemplo estudado neste trabalho e ilustrado pela Figura 10.

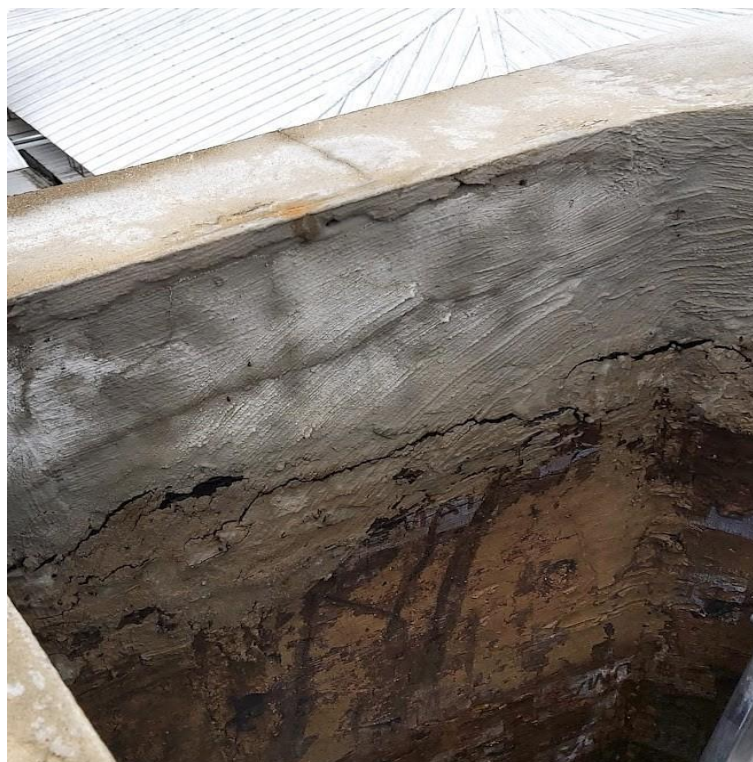


Figura 10 – Surgimento de fissuras na parte superior do reservatório.

Por meio dos problemas observados torna-se evidente a importância não somente de realizar projetos de impermeabilização, que virão a contribuir para evitar retrabalhos e racionalizar o uso de materiais, mas também se faz importante a implantação de um sistema de gestão de manutenção que contemple o planejamento de atividades e recursos, bem como a execução de cada um deles de acordo com as especificidades de cada empreendimento [17].

Além disso, segundo o Instituto de Impermeabilização – IBI [17] a manutenção não deve ser realizada de modo improvisado e casual, deve ser entendida como um serviço técnico a ser realizada por empresas capacitadas conforme a complexidade. Com relação às responsabilidades da manutenção na garantia, segundo a CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção [18], constitui condição de garantia do imóvel, a correta manutenção da unidade e das áreas comuns do condomínio.

É importante ressaltar que certos sistemas de impermeabilização têm uma vida útil de projeto que pode variar entre 8 e 30 anos [17], de modo que a organização de um cronograma de manutenção predial voltada aos sistemas de impermeabilização é necessária não apenas para proteger a edificação dos problemas relacionados à umidade, mas também para preservar a garantia.

5. CONCLUSÃO

Os danos causados pela presença de água (como a umidade) estão relacionados a uma série de problemas que podem vir a resultar na degradação dos materiais de construção, além de favorecer a proliferação de microrganismos, como bolores e fungos, motivo pelo qual este assunto se torna de grande interesse para vários pesquisadores.

Um bom conhecimento acerca da presença de umidade nos materiais utilizados na construção civil é uma questão fundamental para definir as ações de conservação das edificações. Para tanto, investigar e conhecer o comportamento dos sistemas de impermeabilização utilizados durante a fase de construção são de extrema importância para garantir um desempenho adequado do edifício e/ou suas partes.

Para o reservatório abordado no estudo de caso, constataram-se várias manifestações patológicas aparentes, entre elas o descascamento da manta asfáltica, apresentando a necessidade de o condomínio avaliar a substituição da manta asfáltica para evitar maiores prejuízos financeiros e estruturais evidenciando a necessidade de o método de impermeabilização ser decidido por um profissional com conhecimento técnico para que possa indicar e supervisionar a execução do serviço conforme as normas brasileiras indicam.

Assim, justificando a importância de um excelente projeto para as áreas que necessitam serem impermeabilizadas, considerando o local e seu propósito construtivo para que o mesmo seja adequado para o local em questão, de modo a evitar transtornos e custos com possíveis reparos, visto que mitigar os danos causados pela presença de umidade na edificação é um recurso que, quando bem planejado, auxilia no desenvolvimento de estratégias para os serviços de manutenção e aumento da vida útil.

REFERÊNCIAS

- [1] RIGHI, Geovane Venturini. **Estudo dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções**. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.
- [2] CRUZ, Júlio Henrique Pinto. **Manifestações patológicas de impermeabilizações com uso de sistema não aderido de mantas asfálticas: avaliação e análise com auxílio de sistema multimídia**, 2003. Disponível em: <<https://fibersals.com.br/>> Acesso em: 06 de fevereiro de 2022.
- [3] TRAUZZOLA, Neuza Maria. **A patologia nas edificações ocasionadas por infiltrações - estudo de caso. São Paulo**, 1998, 81p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais. Programa de Pós-Graduação, Instituto Mackenzie, 1998
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9574: **Execução de impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2008.
- [5] ARANTES, Y. K. **Uma visão geral sobre impermeabilização na Construção Civil**. Monografia de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- [6] POZZOLLI. **Impermeabilização Relatório Especial: as primeiras obras de impermeabilização**. Informe Técnico, O Empreiteiro, ago. 1991, p. 37-38.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575: **Impermeabilização – Seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2003.
- [8] GABRIOLLI, J.; THOMAZ, E. **Impermeabilização de fundações e subsolos**. Revista Técnica: revista de tecnologia e negócios da construção. São Paulo, ano 10, n. 67, p. 77-80, out. 2002.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9952: **Manta asfáltica com armadura para impermeabilização – Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [10] MELLO, L.S.L. **Impermeabilização - Materiais, procedimentos e desempenho**. 2005. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005.
- [11] ANTONELLI, G. R.; CARASEK, H.; CASCUDO O. **Levantamento das manifestações patológicas de lajes impermeabilizadas em edifícios habitados de Goiânia-Go**. IX Encontro Nacional do Ambiente Construído, Foz do Iguaçu, 2002.
- [12] MORAES, Claudio Roberto Klein. **Impermeabilização de lajes de cobertura: Levantamento dos principais fatores envolvidos na ocorrência de problemas na cidade de Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul 2002.

- [13] VANNI, Claudia Maria Kattah. **Análise de falhas aplicada à compatibilidade de projetos na construção de edifícios**. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, 1999.
- [14] FIGUEIREDO, João Pedro Capítulo. **Levantamento de anomalias nos sistemas impermeabilizantes de coberturas planas**. Relatório de Estágio para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Área de Especialização em Edificações, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2014.
- [15] SOARES, F. F. **A importância do projeto de impermeabilização em obras de construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.
- [16] PICCHI, F. A. **Impermeabilização de Coberturas**. São Paulo: Pini, 1986.
- [17] IBI, Instituto de Impermeabilização. **Diretrizes para elaboração do manual de uso, operação e manutenção da impermeabilização**: cuidados de uso, condições de manutenção, manutenção preventiva e perda de garantia com foco no atendimento à ABNT NBR 15575:2013, 2015.
- [18] CBIC. **Manual de uso, operação e manutenção das edificações, orientações para construtoras e incorporadores**, 2013.

ÁREA TEMÁTICA: PATOLOGIA E VIDA ÚTIL

AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE PILARES COM CORROSÃO DE ARMADURAS

OLIVEIRA, Bruno Barroso de¹
AGUIAR, Prof. Dr. José Eduardo de²

¹PUC-Minas, Belo Horizonte, Brasil, bruno.oliveira@ompenharia.com.br, 0000-0001-6760-7921

²PUC-Minas, Belo Horizonte, Brasil, aguiar@recuperacao.com.br

RESUMO

A medida que as edificações envelhecem, ficam mais suscetíveis ao aparecimento de manifestações patológicas. No entanto, associado ao envelhecimento da estrutura, há fatores que exercem influência direta na sua durabilidade, tais como cobertura de concreto, fator água/cimento e condições de cura. Dessa forma, esse conjunto de fatores faz com que edificações, eventualmente, desenvolvam manifestações patológicas de forma precoce. Dentre essas, uma das mais frequentes é a corrosão de armaduras, que compromete o desempenho da estrutura. Portanto, faz-se necessário investir em um sistema eficiente de diagnóstico, evitando que a estrutura chegue a um estado de gravidade e coloque em risco a segurança dos usuários. Nesse contexto, este trabalho realizou o diagnóstico da estrutura de um edifício que apresenta corrosão de armaduras nos pilares da garagem, fundamentado em ensaios de pacometria, carbonatação e potencial eletroquímico, além de estudo de previsão de vida útil da estrutura. Concluiu-se, dessa forma, que as armaduras já foram despassivadas e que alguns pilares apresentam perda significativa da seção transversal das armaduras, comprometendo assim a sua capacidade resistiva. Ademais, o ensaio de potencial eletroquímico se mostrou uma ferramenta eficiente de diagnóstico, evidenciando que a umidade exerceu um papel importante no desenvolvimento do processo de corrosão.

Palavras-chave: Manifestações patológicas, durabilidade, corrosão de armaduras.

ABSTRACT

As buildings age, they tend to suffer with the occurrences of pathological manifestations. However, associated with the natural aging of the structure, there are constructive factors that affect directly its durability, such as the thickness of the concrete cover, water – cement ratio and the curing conditions. Thus, these factors can cause, eventually, the emerging of pathological manifestations in buildings at an early age, therefore, not reaching their design service life. Once this is established, one of the most common pathological manifestations is the corrosion of steel reinforcement in concrete. Therefore, it is necessary to invest in an efficient diagnostic system, preventing the structure from reaching a state of gravity and jeopardizing the safety of users. In this context, this work carried out a diagnosis of the structure of a building that presents corrosion of reinforcement steel in garage pillars, based on tests such as pacometry, carbonation and electrochemical potential, in addition to a study to predict the service life of the structure. It was concluded this way that the reinforcement steel rebars had its transversal section reduced, compromising therefore its bearing capacity. Moreover, it was demonstrated that the half-cell corrosion potential measurement is an efficient tool regarding the diagnosis of structure once that it showed that moisture played an important role in the development of the corrosion reaction.

Keywords: Pathological manifestations, durability, corrosion.

1. INTRODUÇÃO

As primeiras preocupações relativas à durabilidade de estruturas no Brasil só surgiram em 2003, com a revisão da NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto, hierarquizando as estruturas de acordo com o potencial de agressividade ambiental do meio. Contudo, ainda não havia uma especificação a respeito do período de tempo que as estruturas deveriam durar. Apenas em 2013 na NBR 15575 – Edificações habitacionais – desempenho, que se estabeleceu três níveis de desempenho a serem atingidos pelos sistemas [1].

Tais normas são relevantes pois, à medida que as edificações envelhecem, ficam mais suscetíveis ao aparecimento de manifestações patológicas, podendo não atender aos requisitos mínimos de desempenho e necessitando, eventualmente, de reparos e recuperações. Para que sejam realizadas tais práticas é essencial que sejam aplicados métodos de diagnóstico para compreender as manifestações patológicas da edificação e seus mecanismos de ação, otimizando os custos e evitando riscos para os usuários.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo realizar um diagnóstico da estrutura de um edifício que apresenta corrosão de armaduras nos pilares da garagem, focado nos processos de carbonatação e corrosão de armaduras, bem como na avaliação da durabilidade da estrutura e eficiência dos métodos de diagnóstico aplicados.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho conta com revisão bibliográfica sobre os conceitos de vida útil e durabilidade na construção civil, os mecanismos de degradação por carbonatação e corrosão de armadura e o modelo matemático de previsão de vida útil. Para a realização dos ensaios pertinentes para o diagnóstico e avaliação da durabilidade da estrutura, utilizou-se os seguintes métodos:

1. **Pacometria:** Com pacômetro modelo Bosch D – Tect 150, foram feitas leituras do cobrimento de quatro pilares, sendo medidos tanto as armaduras longitudinais quanto os estribos. Os procedimentos seguiram o que rege a norma BS 1881: part 204 - testing concrete: Recommendations on the use of electromagnetic covermeters [2].
2. **Ensaio de carbonatação:** Extraiu-se testemunhos dos pilares e utilizou-se fenolftaleína para se aferir a profundidade da frente de carbonatação. Os procedimentos seguiram a prática recomendada do IBRACON – Procedimentos de ensaio de carbonatação acelerada e natural do concreto [3].
3. **Ensaio de potencial eletroquímico:** Com o objetivo de aferir as regiões com probabilidade mais alta de corrosão nos pilares. O ensaio foi realizado conforme a norma ASTM C876-15 – Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete [4].

2.1. Mecanismos de degradação da estrutura

Para este estudo considerou-se dois mecanismos de deterioração das estruturas: a carbonatação e a corrosão de armaduras. Vale ressaltar que a carbonatação é um dos mecanismos que ocasiona o início do processo de corrosão.

i. Carbonatação

A carbonatação é um processo físico-químico que consiste na reação do dióxido de carbono (CO_2) com hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) – presente no cimento Portland hidratado – resultando em carbonato de cálcio ($CaCO_3$), o qual torna o pH do concreto mais ácido, conforme mostra a equação 1.



O processo de reação é responsável pela redução do pH do concreto – pH da ordem de 12,5 reduzido para valores abaixo de 9,0 – que por sua vez ocasiona a despassivação das armaduras [1]. A velocidade deste processo pode ser modelada matematicamente. Contudo, para isso, é necessário conhecer os fatores que influenciam no seu mecanismo de ação.

De acordo com Ribeiro *et. al.* [5], os principais fatores são:

- Relação água/cimento: Possui grande influência na permeabilidade dos gases pelos poros do concreto. Experimentalmente é possível observar que a velocidade da frente de carbonatação de concretos com relações água cimento de 0,80, 0,6 e 0,45, em média, seguem a relação 4:2:1.
- Tipo de cimento: O uso de cimentos com adições pozolânicas e de escória de alto forno aumentam a velocidade da carbonatação, pois esses apresentam menores reservas alcalinas devido às reações pozolânicas, fazendo com que seja necessária uma concentração de CO_2 menor para promover a carbonatação.
- Condições de cura: Quanto mais eficiente a cura, maior será a hidratação do cimento e menor será a porosidade. Consequentemente, o avanço da carbonatação será mais lento.
- Concentração de CO_2 : Quanto maior a concentração, maior será o avanço da frente de carbonatação em relação ao tempo.
- Umidade relativa do ar e grau de saturação dos poros: A difusão do CO_2 na água é cerca de 10 mil vezes menor que a sua difusão no ar, no entanto, a reação de carbonatação precisa da água para ocorrer. Logo, o cenário que proporciona maior facilidade para a ocorrência da reação de carbonatação é aquele em que os poros do concreto estão parcialmente preenchidos por água.

A verificação do processo de carbonatação pode ser feita através da aspersão de fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$), que consiste em um indicador colorimétrico de pH. Dessa forma, quando o concreto é aspergido com fenolftaleína, as regiões com pH inferior à 8,2 (carbonatadas) apresentam uma tonalidade incolor, enquanto que aquelas que possuem o pH superior à 8,2 (não carbonatadas) apresentem uma tonalidade rosa [1].

ii. Corrosão de armaduras

Segundo Helene [6], quando se trata de corrosão de armaduras, há dois mecanismos possíveis: a corrosão eletroquímica, em que há formação de pilha de corrosão devido à presença de umidade ou de uma solução aquosa, o que promove a dissolução do aço nas regiões anódicas; e a corrosão direta, onde o elemento *Fe* reage diretamente com os átomos de oxigênio, de velocidade lenta em temperatura ambiente.

Segundo Carmona [7], a potencialidade da corrosão está diretamente relacionada com o pH do meio, uma vez que existe uma interação entre os íons provenientes da reação de corrosão e os íons dos eletrólitos, o que favorece ou não a formação e manutenção da camada passivante do aço no interior do concreto. Dessa forma, pode-se estabelecer uma relação entre o potencial elétrico e o pH do meio aquoso.

Com relação ao pH, é possível observar a existência de três zonas distintas: imunidade, passivação e corrosão. Na zona de imunidade o metal não se corrói. A passivação é onde o metal é coberto por uma fina camada de óxidos e hidróxidos que impede o avanço da corrosão. Já na zona de corrosão o pH e o potencial eletroquímico dão condições para que a camada de passivação perca a estabilidade e permita o avanço da corrosão. Como ilustra a figura 1.

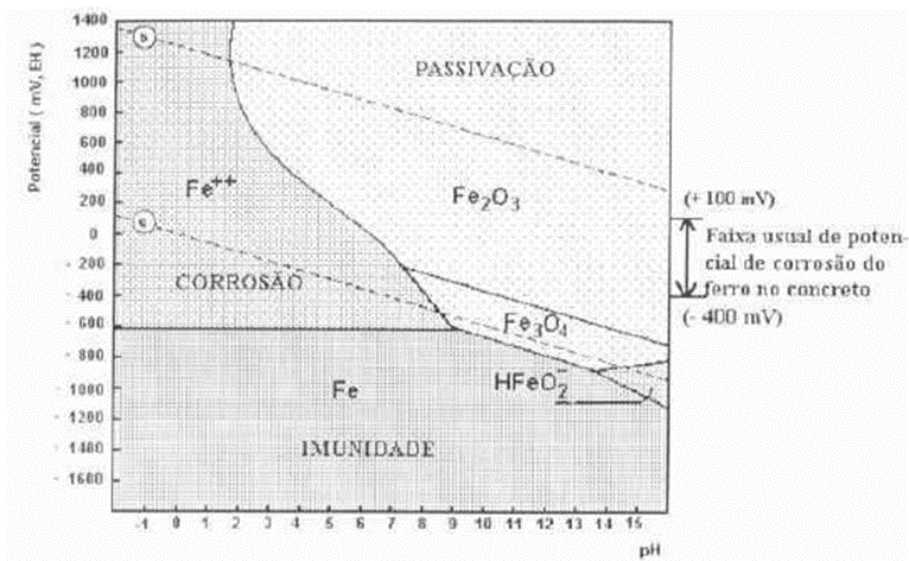
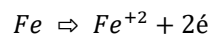


Figura 1 - Diagrama de equilíbrio termodinâmico do metal ferro em meio aquoso a 25° C [4]

Uma vez que o pH do concreto diminui, são estabelecidas as condições para a ocorrência da corrosão eletroquímica, representadas pelas equações 3.2.1 e 3.2.2. [5]



Como reação global, tem-se:



Conforme a reação da pilha de corrosão se desenvolve, o anodo perde massa, o que para a estrutura significa que há uma diminuição de área de aço na seção transversal das barras, o que causa uma diminuição na capacidade do elemento estrutural de resistir às solicitações.

Outro aspecto da corrosão é a característica expansiva dos produtos de sua reação. De acordo com Bolina *et. al.* [1], o $Fe(OH)_2$, formado na reação se oxida, formando $Fe(OH)_3$. Esse reage novamente formando outros produtos. A cada nova reação, o produto formado é mais volumoso que o original, o que gera tensões no concreto que causam fissuração e perda de aderência entre o concreto e as barras de aço. Uma vez que o processo de fissuração se inicia, a velocidade da reação de corrosão aumenta, pois, os agentes agressivos conseguem acessar diretamente as armaduras.

2.2 Durabilidade e vida útil da edificação

Ao ser pautada a corrosão de armaduras, Ribeiro *et. al.* [5] divide a vida útil da edificação em dois períodos: de iniciação, que é definido como o tempo em que os agentes agressivos levam para atravessar o cobrimento, atingir a armadura e provocar a sua despassivação; e de propagação, que é definido como o tempo em que a deterioração evolui até atingir uma condição inaceitável.

A partir dessas duas divisões, a vida útil é entendida por Helene [6] em quatro momentos:

- Vida útil de projeto, é definida pelo período de iniciação onde os agentes agressivos ainda estão penetrando na rede de poros do concreto;

- Vida útil de serviço ou utilização, os efeitos dos agentes agressivos começam a se manifestar, como a fissuração do concreto ou manchas;
- Vida útil total, período que vai até a ruptura e ao colapso parcial ou total da estrutura;
- Vida útil residual, corresponde ao período no qual a estrutura será capaz de desenvolver as suas funções, contado após uma inspeção ou intervenção.

Tais processos são ilustrados na figura 2.

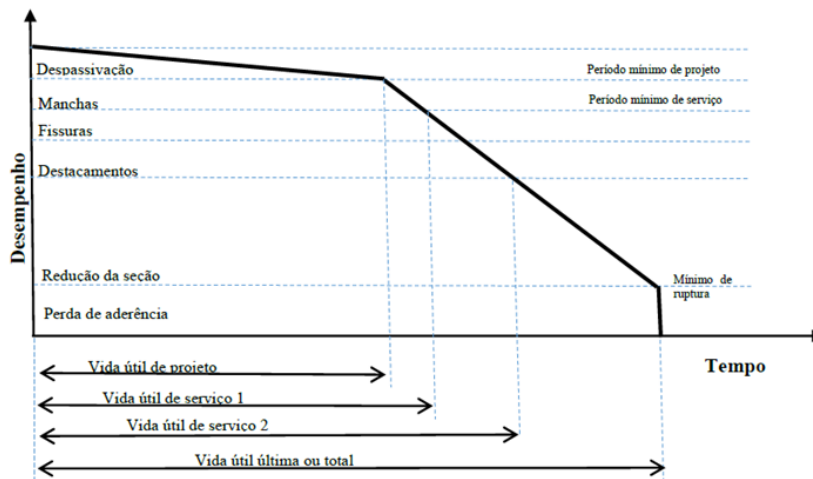


Figura 2 - Conceito de vida útil das estruturas (CANDIAN [8])

2.3 Modelos de previsão de vida útil

Os modelos de previsão de vida útil podem ser relacionados ao período de iniciação ou propagação. Este trabalho focou no período de iniciação, ou seja, no tempo necessário para que os agentes agressivos despassivem a armadura, iniciando o processo de corrosão.

i. Corrosão induzida por carbonatação: Modelo de TUUTTI [9]

O avanço do processo de carbonatação no concreto evolui com rapidez inicialmente, mas com o tempo tende a se estabilizar e atingir uma assíntota. Dessa forma, o modelo matemático proposto por Tuutti [9], e amplamente utilizado atualmente, considera que a evolução da frente de carbonatação é proporcional à raiz quadrada do tempo, conforme ilustra na equação 4.

$$S = k\sqrt{t} \quad (4)$$

Onde:

S = avanço da frente de carbonatação (em milímetros).

K = coeficiente de carbonatação.

t = tempo de despassivação (em anos).

Se considerarmos que o valor de pH é descontínuo, podemos assumir que há uma fina camada de concreto que se encontra carbonatada em uma superfície e não carbonatada na outra, o processo pode ser modelado matematicamente como uma descontinuidade móvel através das equações abaixo [8].

$$\frac{Cx-C1}{g\left(\frac{K}{2\sqrt{D1}}\right)} + \frac{Cx-C2}{f\left(\frac{k}{2\sqrt{D2}}\right)} \quad (5)$$

Onde:

Cx = concentração de CO_2 na descontinuidade (Kg/m^3).

$D1$ e $D2$ = os coeficientes de difusão de CO_2 antes e depois da descontinuidade (m^2/s).

$C1$ = concentração de CO_2 do ar.

$C2$ = concentração de CO_2 do material.

As funções f e g podem ser escritas da seguinte maneira:

$$g\left(\frac{K}{2\sqrt{D1}}\right) = \sqrt{\pi} \frac{K}{2\sqrt{D1}} \exp\left(\frac{K^2}{4D1}\right) \operatorname{erf}\left(\frac{K}{2\sqrt{D1}}\right) \quad (6)$$

$$f\left(\frac{K}{2\sqrt{D2}}\right) = \sqrt{\pi} \frac{K}{2\sqrt{D2}} \exp\left(\frac{K^2}{4D2}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{K}{2\sqrt{D2}}\right) \quad (7)$$

Quando se trata de difusão de CO_2 em concreto, uma equação mais simples pode ser aplicada, no caso, a equação 8 a seguir:

$$\frac{Cx-C1}{g\left(\frac{K}{2\sqrt{D}}\right)} + Cx - C2 = 0 \quad (8)$$

3 OBJETO DE ESTUDOS

O edifício objeto deste estudo (figura 3) possui 4 pavimentos tipo, com estrutura em concreto armado. Não foi possível obter a idade exata do edifício, no entanto, estima-se que seja de aproximadamente 30 anos.



Figura 3 - Fachada do edifício

A garagem encontra-se abaixo do nível da rua. Suas paredes, em contato com o solo, apresentam infiltrações generalizadas. Observa-se que diversos pilares apresentam um processo avançado de corrosão, com armaduras expostas e estribos totalmente consumidos pela corrosão (figura 4). Foi notado que alguns possuem uma seção transversal maior de revestimento até cerca de 1,5m de altura do pilar em relação ao piso, indicando que houve uma tentativa infrutífera de reparo.



Figura 4 - Vista da garagem do edifício

Na figura 5 apresenta-se um croqui, sem escala, com a posição dos pilares. Os pilares cujos cobrimentos foram medidos no ensaio estão destacados de vermelho.

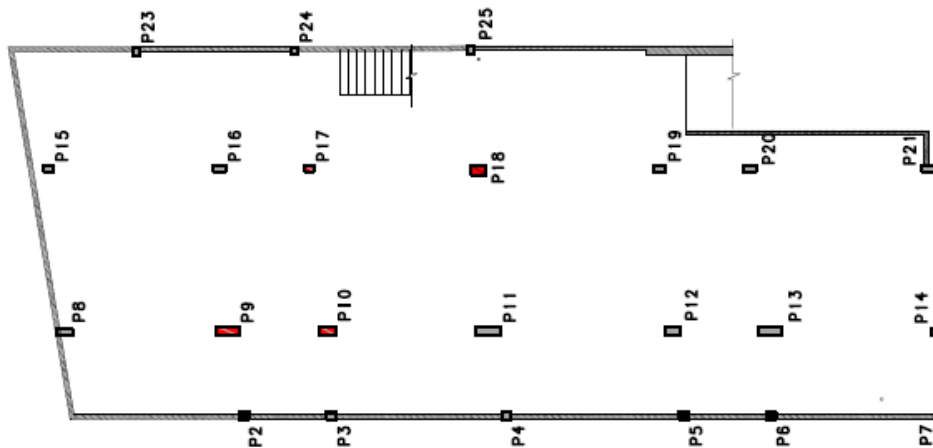


Figura 5 – Croqui com a posição dos pilares

4 MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

4.1 Pacometria

Com o objetivo de aferir o cobrimento de concreto das armaduras dos pilares, realizou-se o ensaio de pacometria. Foram efetuadas leituras de quatro pilares, com seis medições das armaduras longitudinais e três medições dos estribos em cada pilar, 1. Seguindo a norma BS 1881: part 204 - testing concrete: Recommendations on the use of electromagnetic covermeters. Como pode ser observado na figura 6, a seguir.

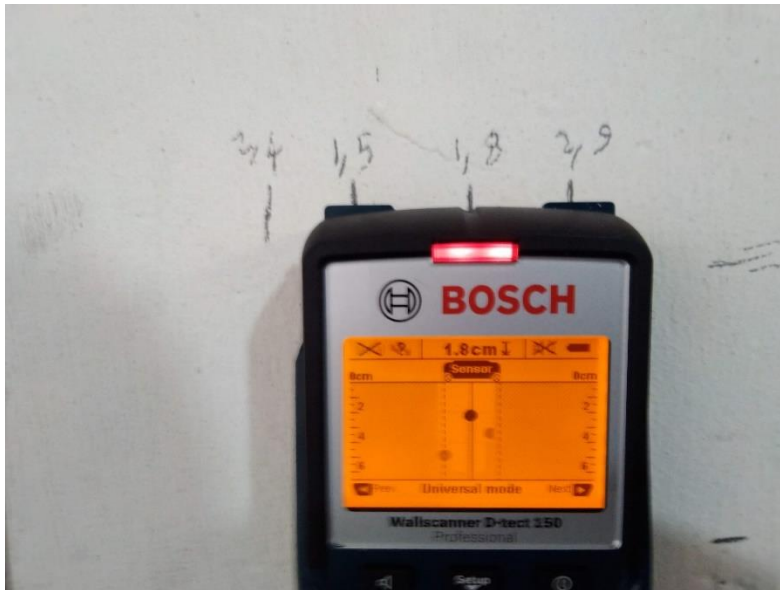


Figura 6 – Ensaio de pacometria

4.2 Ensaio de carbonatação

O ensaio de carbonatação foi realizado seguindo a prática recomendada do IBRACON – Procedimentos de ensaio de carbonatação acelerada e natural do concreto – nos pilares P9 e P17 através da utilização de uma serra copo acoplada a uma furadeira. Tais pilares foram escolhidos levando-se em consideração a sua largura e posição das armaduras. O objetivo inicial era aplicar a fenolftaleína nos testemunhos retirados, contudo, os testemunhos não saíram íntegros. Deste modo a fenolftaleína foi aplicada no próprio pilar e a frente de carbonatação foi medida com uma trena, esse processo é observado na figura 7.



Figura 7 - Medição da frente de carbonatação

4.3 Ensaio de potencial eletroquímico

Este ensaio consiste na medição da diferença de potencial entre o aço da armadura e um eletrodo de referência que é colocado na superfície do concreto. Dessa forma, quanto mais eletronegativa for a leitura de potencial, maior a probabilidade de corrosão nas armaduras.

Os instrumentos utilizados foram: um voltímetro de alta impedância, um eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre, um cabo elétrico tipo “jacaré” e uma esponja umedecida com uma solução composta por detergente diluído em água com uma concentração de aproximadamente 0,5% (em volume). O ensaio ocorreu nos pilares P14 e P17, seguindo as prescrições da norma ASTM C876 [4]. Ressalta-se que tais pilares foram escolhidos porque já tinham armaduras expostas, o que evita que seja necessário escarear o concreto para realizar o ensaio. Ademais, um pilar é intermediário e outro é de extremidade, o que permite a comparação com condições diferentes de exposição. A figura 8 ilustra o procedimento.

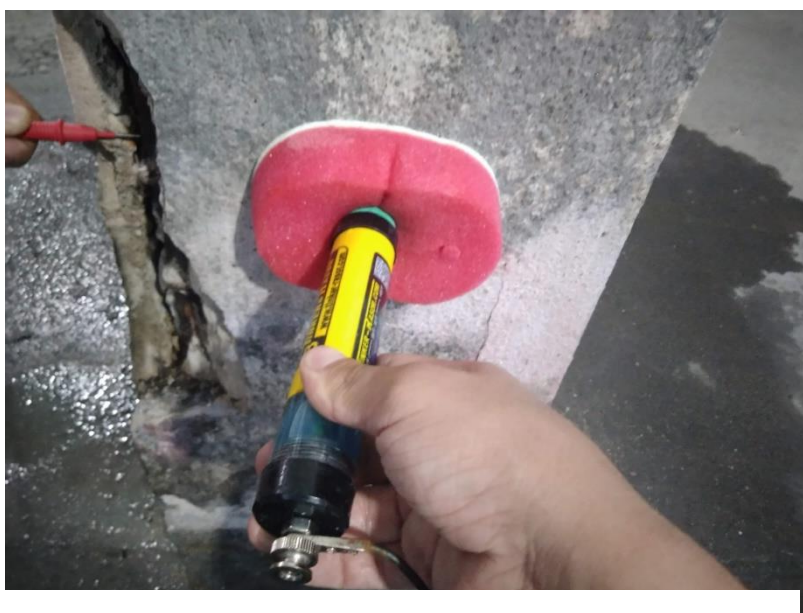


Figura 8 - Ensaio de potencial eletroquímico

5 RESULTADOS

A seguir apresenta-se o resultado de cada ensaio. O resultado da pacometria é apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Resultado do ensaio de pacometria.

| Pilar | Armaduras longitudinais (cobrimento em cm) | | | | | | Estribos (cobrimento em cm) | | |
|-------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------|
| | Amostra 1 | Amostra 2 | Amostra 3 | Amostra 4 | Amostra 5 | Amostra 6 | Amostra 1 | Amostra 2 | Amostra 3 |
| P17 | 2,4 | 1,5 | 1,8 | 2,9 | 1,4 | 1,8 | 1 | 1 | 1,1 |
| P9 | 1,2 | 2,3 | 1,3 | 1,6 | 2 | 1,4 | 2,4 | 2,3 | 1,4 |
| P10 | 0,7 | 0 | 0,5 | 0,7 | 2,8 | 2,2 | 1,8 | 1,9 | 2 |
| P18 | 2,5 | 1,8 | 2,9 | 2,3 | 2,7 | 1,7 | 0,3 | 0,5 | 0,5 |

O cobrimento médio dos estribos em vista das leituras realizadas através do ensaio de pacometria, é de 1,35 cm e os resultados do ensaio de carbonatação mostraram que a frente de carbonatação já avançou até a profundidade de 4 cm, como demonstrado na figura 7. O que nos leva a concluir que o processo se encontra consideravelmente avançado e que as armaduras já foram despassivadas.

Aplicando os resultados obtidos no ensaio de carbonatação (em mm) e a idade estimada do edifício (em anos) na equação 9, tem-se:

$$40 = k\sqrt{30} \quad (9)$$

E, como resultado:

$$k = \frac{40}{\sqrt{30}} = 7,302 \frac{mm}{ano^{\frac{1}{2}}}$$

Com isso, obteve-se um coeficiente de carbonatação de $7,302 \text{ mm/ano}^{1/2}$

Quando aplicada novamente para se obter o tempo necessário para a frente de carbonatação atingir o cobrimento médio dos estribos, de 1,35 cm, expresso pela equação 10:

$$S = k\sqrt{t} \quad (10)$$

$$t = \left(\frac{S}{k}\right)^2$$

$$t = \left(\frac{13,5}{7,302}\right)^2 = 3,418 \text{ anos}$$

Desta forma, conclui-se que devido ao baixo cobrimento das armaduras e à alta porosidade do concreto, o período de propagação do processo de corrosão provavelmente teve início, apenas, aos 3 anos e 5 meses após a conclusão da obra. Ressalta-se que o coeficiente de carbonatação de 7,302 é consideravelmente alto, compatível com um concreto de alta porosidade e de baixa resistência. Para corroborar tal afirmativa cita-se a proposição de Helene *apud*. Carmona [7], que correlaciona a resistência a compressão do concreto com o coeficiente de carbonatação. De acordo com ela, um concreto de fck 25 MPa teria um coeficiente de carbonatação de $3,96 \text{ mm/ano}^{1/2}$.

Com relação ao ensaio de potencial eletroquímico para aferir as regiões com probabilidade de corrosão no pilar, destaca-se que, de acordo com a norma ASTM C876-15, se o potencial é maior do que -200 mV, existe uma probabilidade maior do que 90% de que não haja corrosão. Se o potencial se encontra entre -200 e -350 mV, a ocorrência é incerta. Já se o potencial for menor que -350 mV, existe uma probabilidade maior do que 90% de haver corrosão nas armaduras. Segue, abaixo, na tabela 2, o resumo dos resultados do ensaio realizado nos dois pilares:

Tabela 2 - Resumo dos resultados do potencial eletroquímico

| Pilar | Potencial 0 a 60 cm (mV) | Potencial 60 a 120 cm (mV) | Potencial 120 a 180 cm (mV) |
|-------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| P14 | -400 | -409 | -403 |
| P17 | -330 | -247 | -177 |

Observa-se que P17 apresenta um potencial mais eletronegativo na base. Este resultado é coerente, já que a principal fonte de umidade desse pilar advém do piso, onde há contato com o solo e empoçamento de água. Notou-se também, as armaduras longitudinais expostas e fissuras típicas de corrosão apenas na base, como pode ser visto na figura 09, o que corrobora com esse resultado.



Figura 9 – Pilar P17

Já o P14 apresenta potenciais mais eletronegativos, com leituras praticamente constantes ao longo da sua altura, evidenciando um processo de corrosão mais avançado. Esse resultado é explicado pelo fato de que a principal fonte de umidade é o solo do talude que está em contato com o pilar, que atua de forma relativamente uniforme em todo o seu comprimento. Inclusive, observa-se, na figura 10, que o pilar apresenta armaduras expostas ao longo de toda a sua altura.



Figura 10 – Pilar P14

Na figura 11, os resultados do ensaio de potencial eletroquímico podem ser observados com mais clareza:

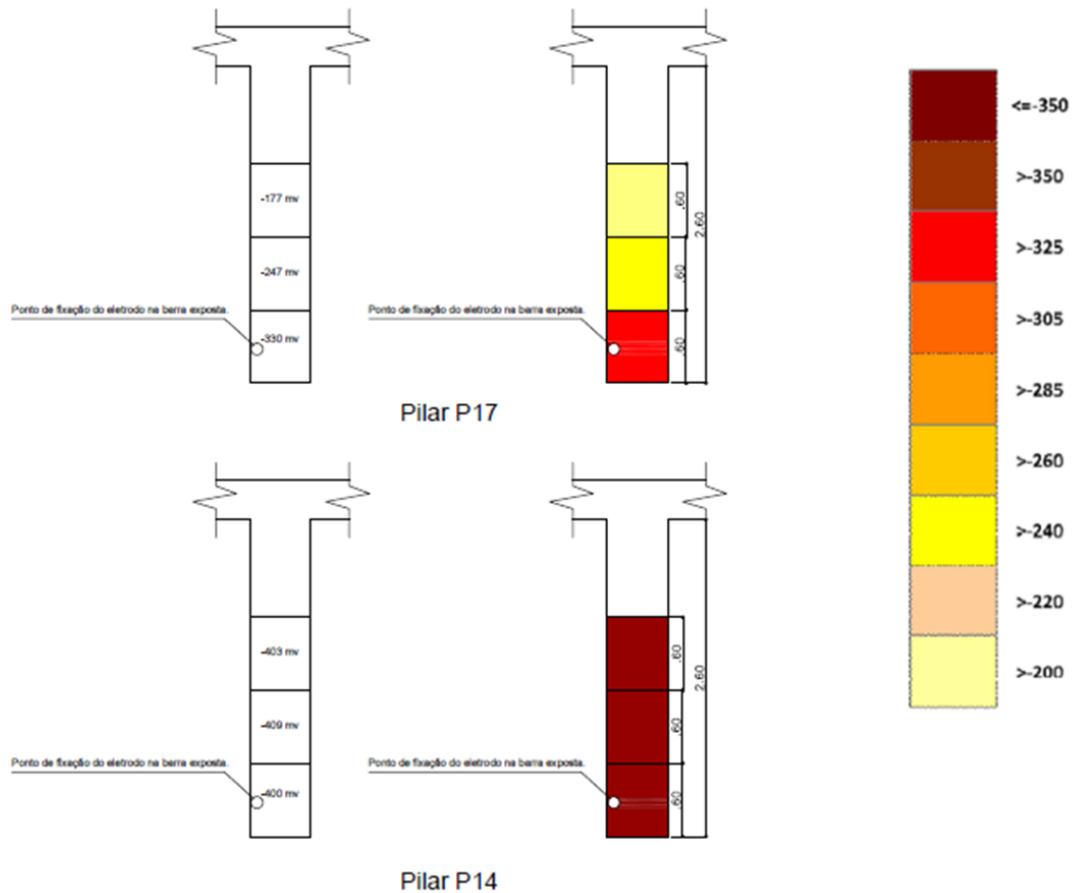


Figura 11 - Resultados do ensaio de potencial de corrosão.

6 CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas que indicaram o tempo de despassivação estimado de 3 anos e 5 meses, conclui-se que o período de propagação do processo de corrosão já ocorre há décadas, o que justifica o elevado nível observado nos elementos estruturais do edifício. Além disso, constatou-se que aqueles pilares de extremidade, como o P14, que se encontram em contato com o solo, não só apresentam um potencial de corrosão mais eletronegativo, mas também apresentam um processo de corrosão que se dá de forma uniforme em relação à sua altura.

Portanto, pode-se afirmar ainda que o ensaio de potencial de corrosão se mostrou uma eficiente ferramenta de diagnóstico, já que os resultados foram coerentes e através deles foi possível apontar que a umidade advinda do solo constituiu um fator relevante para o agravamento do processo de corrosão.

Ademais, considera-se que o processo de corrosão já se encontra em um estágio avançado e que as armaduras dos pilares já sofreram uma perda significativa de área da seção transversal. Isso implica em uma perda da capacidade resistiva do elemento estrutural, evidenciando o caráter de urgência para a recuperação da estrutura.

7 REFERÊNCIAS

- [1] Bolina, F. L. et. al. **Patologia de Estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- [2] BRITISH STANDARD. **1881: Testing concrete - Part 204. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters**, 1988.
- [3] INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Prática Recomendada: Procedimentos de Ensaio de Carbonatação Acelerada (Corpos de Prova) e Natural (Testemunhos) do Concreto**. São Paulo: Ibracom, 2021. 41 p.
- [4] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, C876: **Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete**, 2015.
- [5] Ribeiro, D. V. (org.). **Corrosão e degradação em estruturas de concreto: teoria, controle e técnicas de análise e intervenção**. Rio de Janeiro, gen|LTC, 2ªed., 2020.
- [6] Helene P. **Contribuição ao estudo de corrosão de armaduras em concreto armado**. São Paulo: USP. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.
- [7] Carmona, T. G. **Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação**. – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- [8] Candian, A. L. **Metodologia para avaliação de estruturas de concreto armado degradadas utilizando ensaios dinâmicos**. 2017 – Programa de Pós graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, Viçosa, 2017.
- [9] Tuutti, K. **Corrosion of steel in concrete**. Stockholm. Royal Institute of Technology, Swedish Cement and Concrete Research Institute. Department of Building Materials, Stockholm, 1982.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e vida útil

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMA HIDRÁULICO EM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

STROKA, Anne Mylene¹; VICENTE, Smylla Gabriela Leocadio de²; LANGARO, Eloise Aparecida³; GOBBI, Andressa⁴

¹ Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, annemylene@icloud.com

² Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, smyllaleocadio333@gmail.com

³ Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, ealangaro@uepg.br, 0000-0002-0694-3531

⁴ Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, andressagobbi@ufpr.br, 0000-0002-6696-3331

RESUMO

O sistema hidráulico e sanitário geralmente encontra-se embutido no sistema de vedação, dificultando o seu acesso quando comparado com outros tipos de instalações e sistemas. O surgimento das manifestações patológicas decorrentes de falhas nas instalações hidrossanitárias podem afetar outros sistemas do edifício, como o forro, revestimento, instalações elétricas, e também podem causar danos à estrutura, entre outros. Com o intuito de minimizar a incidência de problemas relacionados às instalações prediais nos edifícios, este trabalho analisou as manifestações patológicas das instalações hidrossanitárias que já ocorreram e que tiveram medidas corretivas, de dois condomínios residenciais executados pela mesma construtora. Este trabalho buscou levantar as maiores causas de retrabalhos no sistema hidrossanitário a partir da análise dos dados fornecidos pela construtora responsável pela construção dos dois condomínios residenciais. Entre as principais causas do surgimento das manifestações patológicas das instalações hidrossanitárias, pode-se citar: entupimento das tubulações, esmagamento, quebra de tubos e conexões, e por fim, infiltrações ocasionadas por vazamentos ou falhas no sistema de impermeabilização.

Palavras-chave: manifestações patológicas; instalações hidrossanitárias; instalações prediais; construção civil.

ABSTRACT

The hydraulic and sanitary system is usually inlaid in the sealing system, making access difficult when compared to other types of installations and systems. The emergence of pathological manifestations resulting from failures in hydrosanitary installations can affect other building systems, such as the ceiling, coating, electrical installations, and can also cause damage to the structure, among others. In order to minimize the incidence of problems related to building installations in buildings, this work analyzed the pathological manifestations of hydrosanitary installations that have already occurred and that have had corrective measures, in two residential condominiums executed by the same construction company. This work sought to raise the major causes of rework in the hydrosanitary system from the analysis of data provided by the construction company responsible for the construction of the two residential condominiums. Among the main causes of the emergence of pathological manifestations of hydrosanitary installations, we can mention: clogging of pipes, crushing, breakage of tubes and connections, and finally, infiltrations caused by leaks or failures in the waterproofing system.

Keywords: pathological manifestations; hydrosanitary installations; building installations; construction.

1. INTRODUÇÃO

Projetar e executar as instalações hidrossanitárias representa um baixo custo em relação ao custo total da obra. No entanto, essas instalações são responsáveis por grande parte dos problemas causados depois da obra finalizada. E, os retrabalhos necessários para contornar os problemas existentes apresentam custos elevados. Sabendo disso, um bom projeto e a

execução adequada trará maior economia, menos manifestações patológicas e inconformidades, além de fornecer condições favoráveis ao conforto do usuário.

As instalações hidráulicas têm o objetivo de abastecer, distribuir e realizar o escoamento da água predial. É de extrema importância que elas sejam feitas de maneira correta, seguindo o projeto, realizado por profissional habilitado na área, e executado por pessoas qualificadas. Para as instalações prediais hidráulicas temos a norma NBR 5626 [1] que cita as especificações para obter um projeto bem elaborado, o qual garanta a execução e manutenção, a higiene (potabilidade da água), segurança, conforto e economia. Além destas normas tem-se a NBR 8160 [2] e a 10844 [3], ambas as normas trazem informações sobre projeto, execução e manutenção destes sistemas.

As manifestações patológicas relacionadas às tubulações são ocasionadas por agentes variados, como por exemplo, a falta de manutenção, os efeitos do tempo, os vazamentos e as infiltrações. Tanto o tempo quanto a qualidade dos materiais utilizados nas instalações, podem ser nocivos para os sistemas hidráulicos, ocasionando vazamentos ou demais problemas nas tubulações e, portanto, às tubulações precisam periodicamente de manutenção [4].

As principais causas de manifestações patológicas em sistema prediais hidráulicos e sanitários (SPHS) são de origem endógena, ou seja, se originam no interior de um organismo, de um sistema [5]. De acordo com Garcia (2017) [6], 40% das manifestações patológicas têm origem em falhas de projeto, 28% são provenientes de falhas de execução, 18% por conta da qualidade dos materiais utilizados, 10% pela forma do uso das instalações e 4% por outros motivos. Corroborando com o autor, outro trabalho encontrou como principais causas a falha no projeto (45%), a falha na execução (22%), a má qualidade dos materiais (15%), a má utilização das instalações por parte dos usuários (11%), e outros motivos não especificados anteriormente (7%).

As instalações hidrossanitárias, conforme mencionado anteriormente, são subdivididas em instalações de água fria, de água quente, de esgoto sanitário e de água pluvial. O presente trabalho abordará as instalações de água fria, no que diz respeito aos seus componentes e o surgimento de manifestações patológicas.

2. INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA

A instalação hidráulica é projetada para definir a captação, transporte e armazenagem dos fluídos. Para isso, é necessário considerar alguns fatores como: quantidade de moradores, o consumo médio do imóvel, o tipo de obra, as cargas de cada ponto, as perdas de pressão, entre outros fatores. Com o tempo, essas instalações podem apresentar mau funcionamento, danos como entupimentos e/ou vazamentos e, para evitar ou diminuir esses problemas, é necessária a realização de manutenções nestas instalações. Podem ser manutenções de prevenção, testes para observar o funcionamento ou mesmo limpezas.

As instalações de água fria precisam ser projetadas seguindo algumas recomendações propostas pela NBR 5626 [1], de como garantir o fornecimento de água de maneira contínua e em quantidade suficiente, com pressões e velocidades adequadas para o correto funcionamento das peças e do sistema de tubulações. É necessário ainda, que seja preservada rigorosamente a qualidade da água [7]. As instalações prediais hidrossanitárias têm como funções distribuir a água, em quantidade suficiente e com a pressão adequada nas peças em que serão utilizadas; impedir o retorno de águas poluídas nas tubulações de alimentação dos aparelhos, criando condições favoráveis ao conforto e a segurança dos usuários [8].

A norma de desempenho, NBR 15575-6 [9], Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 6: Sistemas Hidrossanitários, tratam exclusivamente dos requisitos para o sistema predial em estudo. O texto explora conceitos como a durabilidade dos sistemas, a previsão e antecipação de critérios para a manutenção da edificação e suas partes, bem como o funcionamento dos sistemas hidrossanitários e requisitos mínimos de desempenho ao longo de uma determinada vida útil, a qual deverá ser estimada pelo projetista. Segundo a própria norma de desempenho as instalações hidrossanitárias devem garantir a segurança e saúde de seus usuários, além disso, elas devem adaptar-se as movimentações térmicas dos elementos que estão embutidas.

Os sistemas prediais hidrossanitários possuem características que são inerentes ao próprio sistema, como a complexidade funcional e a interrelação dos subsistemas. Além desses pontos, é preciso que se considere também a variedade de materiais, de componentes e de equipamentos que os constituem (tubos, conexões, registros, válvulas, acessórios, reservatórios, bombas, tanques, equipamentos de controle e medição) [10].

Assim, pode-se afirmar que existe uma imensa gama de manifestações patológicas decorrentes deste sistema em edificações, desde falhas frequentes em equipamentos até variações vinculadas ao uso de aparelhos sanitários [11]. A partir do momento que se tem a ocupação ou o uso de uma edificação, ela está sujeita ao processo progressivo de obsolescência em seus sistemas prediais hidráulicos e sanitários. Entre os fatores que influenciam esse processo têm-se a manutenção deficiente ou irregular, falha nos componentes, processos naturais de desgaste ou envelhecimento dos materiais utilizados bem como as condições de exposição inadequadas [12].

As instalações prediais hidráulicas e sanitárias devem apresentar-se em condições de uso por toda a vida útil da edificação. Essas instalações devem funcionar de forma adequada, pois são as responsáveis por disponibilizarem insumos, como é o caso da água aos usuários. Desta maneira, as qualidades destas instalações possuem implicações diretas no desempenho às necessidades de seus usuários, bem como a racionalização em relação às perdas, desperdícios e utilização dos insumos adequados [13].

3. METODOLOGIA

A coleta de dados foi proveniente de duas obras de condomínios residenciais do Programa Casa Verde Amarela na cidade de Ponta Grossa – Paraná. A partir de fotos fornecidas pela construtora levantadas durante as inspeções de serviços, as quais alimentaram os dados de retrabalho da referida empresa, foram verificadas as manifestações recorrentes nas instalações hidráulicas dos dois condomínios (as fotos não constam no presente trabalho por razões de direitos autorais da construtora). A Figura 1 apresenta o fluxograma de trabalho.



Figura 1 – Etapas de trabalho.

Entre as amostragens fornecidas pela construtora, obteve-se um levantamento das instalações hidrossanitárias, e alguns dados das instalações elétricas, e também de outros condomínios. Então, primeiramente separou-se os materiais relacionados apenas às instalações hidráulicas, os quais foram analisados na próxima etapa, e descartou-se os outros dados. Como não se analisou a totalidade dos problemas em cada condomínio da construtora e sim, uma amostragem baseada nas informações prestadas, não se tem dados quantitativos.

Por fim, levou-se em consideração a identificação das possíveis causas do surgimento da manifestação patológica encontrada nos condomínios residenciais. As manifestações patológicas e suas possíveis causas foram descritas e representadas posteriormente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As imagens fornecidas pela construtora foram analisadas criteriosamente para encontrar as manifestações patológicas presentes, e assim apontar todas as causas, reparos e como poderiam ter sido evitadas. A partir das fotos fornecidas pela construtora, foram verificadas as seguintes manifestações recorrentes nas instalações hidráulicas, dos dois edifícios do programa Casa Verde Amarela:

- Entupimento nas tubulações: a tubulação tem como principal função o transporte e a distribuição de fluídos, quando se encontram obstruídas perdem sua funcionalidade. A obstrução pode ser parcial ou total, quando é parcial continua tendo

funcionalidade, entretanto, é notória a redução no desempenho da função pois a quantidade de água é minimizada. As obstruções causadas tiveram como principal causa materiais cimentícios como argamassas e grautes utilizados durante as etapas construtivas (Figura 2);

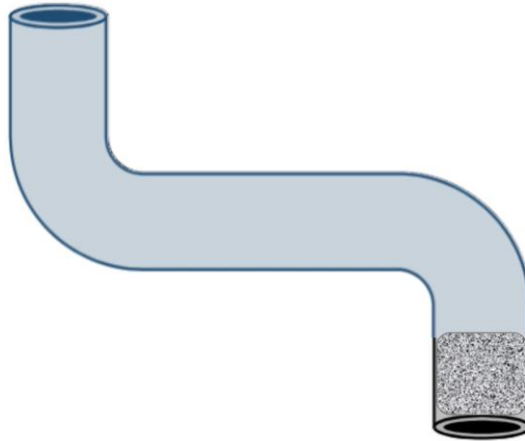


Figura 2 – Tubulação com obstrução total na extremidade inferior da imagem.

- Esmagamento, quebra de tubos e conexões: as tubulações e peças de PVC como junções, tês, luvas, entre outras, demandam cuidados no momento de suas instalações. Por serem peças rígidas, podem quebrar ou fissurar com impacto (Figura 3) além da dificuldade em detectar alguma microfissura que venha a causar um futuro ponto de vazamento. Assim, não se pode permitir que sejam instaladas peças com problemas maiores como fissura, furos ou quebradas;



Figura 3 – Tubulação quebrada ou com fissura que causa ponto de vazamento.

- Infiltrações: a infiltração é uma manifestação patológica que pode indicar vários tipos de problemas e a sua aparição indica que esse problema está há algum tempo presente. Exemplo disso são vazamentos, falhas de impermeabilização, falhas de instalação (Figura 4) na qual as peças não foram coladas da forma correta, entre outros.

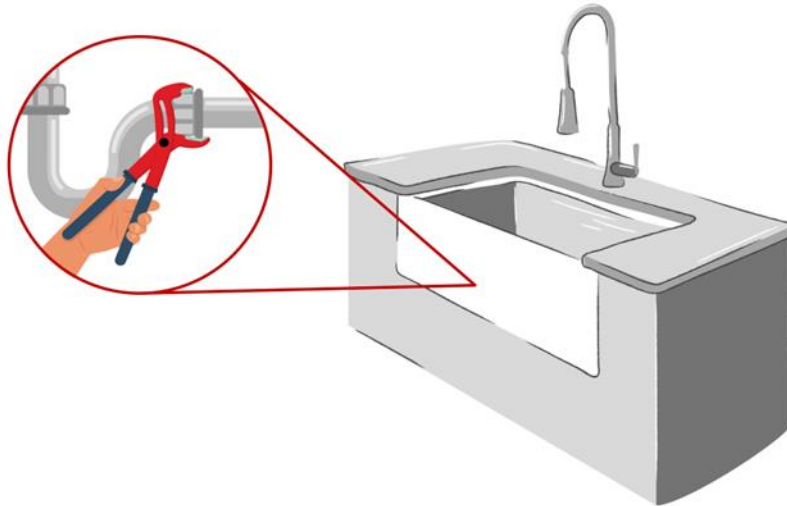


Figura 4 – Falha na instalação podendo ocasionar infiltrações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, tendo o foco principal em instalações de água fria, mostrou-se o quanto é necessário o estudo e aplicação do mesmo no ramo da construção civil a partir de um projeto bem feito e detalhado e com mão de obra especializada para a execução.

As manifestações patológicas podem ser de diversos tipos e ter diferentes origens. O presente estudo possibilitou a identificação das mesmas em instalações hidráulicas, demonstrando que os problemas encontrados foram ocasionados por falhas na execução. Foi possível observar o quão recorrente são, mesmo analisando-se uma amostra pequena, de apenas uma construtora, obteve-se diagnósticos relevantes.

No desenvolvimento deste trabalho foram verificadas e analisadas imagens que continham manifestações patológicas em instalações hidrossanitárias de edificações com 4 pavimentos de uma construtora na cidade de Ponta Grossa/PR. A partir dessa análise foi diagnosticado que a maior parte das manifestações patológicas podem ter ocorrido por conta da mão de obra que não foi treinada e acompanhada de maneira efetiva, já que a maioria das manifestações poderiam ter sido evitadas na execução das instalações.

As principais manifestações patológicas identificadas foram: tubulações obstruídas, tubos e peças de PVC rompidas, infiltrações, vazamentos e colagem malfeitas das peças. Sendo todas elas bastante comprometedoras dos sistemas hidrossanitários de edificações. Através da análise das imagens obtidas, pode-se verificar que muitas das manifestações patológicas seriam evitadas com treinamento efetivo dos colaboradores.

Nota-se que muitas vezes não é dada devida importância para esse tema, tanto por vícios construtivos, tanto por não se aplicar de forma correta normas e regulamentos. Logo este estudo breve demonstrou grande importância para gerar a conscientização de todos os envolvidos no projeto e execução de uma edificação, a fim de trazer conforto ao usuário final e menor número de retrabalhos e gastos relacionados a isso.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626: Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- [4] LEITE, A. M. S. **Análise das patologias recorrentes em instalações prediais hidrossanitárias**. Monografia (graduação). Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Curso de Engenharia Civil, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4892/1/AllanMSL_MONOpdf.pdf. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.
- [5] CARVALHO JÚNIOR, R. **Patologias em sistemas prediais hidráulicos sanitários**. São Paulo, 1ª edição, Editora Blucher, 2013.
- [6] GARCIA, R. F. **Identificação de melhorias no controle da qualidade para obtenção da conformidade em obras de edificações**. Monografia (graduação). Universidade Federal do Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2017.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626: **Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- [8] CARVALHO JUNIOR, R. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias: princípios básicos para a elaboração de projetos**. São Paulo: Blucher, 2014.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-6: **Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 6: Sistemas Hidrossanitários**. Rio De Janeiro: ABNT, 2013.
- [10] ILHA, M. S. O.; GNIPPER, S. F. **A investigação patológica na melhoria dos sistemas prediais hidráulico-sanitários**. Hydro. São Paulo, v.30, p.60-65, 2009.
- [11] TEIXEIRA, P.; REIS, R. P. A.; GNIPPER, S. F.; MONTEIRO, J. V. F. **Estudo de patologias nos sistemas prediais hidráulicos e sanitários do prédio do ciclo básico II da Unicamp**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, n.2, p.34-50, 2011.
- [12] SANTOS, F. P.; LAGE, E. G. S. **Patologias dos sistemas hidráulicos e sanitários da Escola Dom Domingos Carrerot**. Engineering Sciences, v.8, n.1, p.17-26, 2020.
- [13] ARAÚJO, L. S. M. **Avaliação durante operações dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários em edifícios escolares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2004.307246>. Acesso em: 1 de Setembro de 2021.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e vida útil

**INVESTIGAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO TERMINAL
RODOVIÁRIO DO MUNICÍPIO DE BACABAL, NO MARANHÃO**

BENTO, Laryssa Oliveira ¹; ALVES, Thamila Barroso de Moura ²; NASCIMENTO, Márcia Ellen do ³; DIAS, Alisson Rodrigues de Oliveira ⁴

¹ Universidade Estadual do Maranhão, Bacabal - MA, Brasil, laryssabento@aluno.uema.br, 0000-0001-6622-1787

² Universidade Estadual do Maranhão, Bacabal - MA, Brasil, thamilaalves1@aluno.uema.br, 0000-0002-7662-9265

³ Universidade Estadual do Maranhão, Bacabal - MA, Brasil, marcianascimento1@aluno.uema.br

⁴ Universidade Estadual do Maranhão, Bacabal - MA, Brasil, alissondias@professor.uema.br, 0000-0002-9892-6834

RESUMO

O terminal rodoviário do município de Bacabal, no Maranhão, possui uma grande importância para o traslado de pessoas e mercadorias, pois é ponto de apoio entre os estados do Maranhão, Piauí e Pará, fazendo com que inúmeras pessoas transitem pela rodoviária diariamente. Diante do papel social e econômico deste edifício destaca-se a importância do seu perfeito funcionamento para assegurar a saúde e segurança do cidadão. Portanto, objetivou-se analisar e inspecionar, através de registros fotográficos, as manifestações patológicas encontradas na edificação, em conjunto com a realização de ensaios para determinação da carbonatação nas estruturas e revisões bibliográficas. Como resultado, observou-se que os pilares sofreram corrosão e deslocamento, as vigas apresentavam bolor e descolamento no revestimento, além disso, o telhado e a alvenaria apresentavam também sinais de infiltração, desgaste e descascamento do revestimento. Logo, conclui-se que a rodoviária necessita de reparos estruturais que certifiquem a sua integridade.

Palavras-chave: durabilidade; inspeção; carbonatação; concreto armado.

ABSTRACT

The bus terminal in the municipality of Bacabal, in Maranhão, is of great importance for the transfer of people and merchandise, as it is a point of support between the states of Maranhão, Piauí and Pará, causing countless people to pass through the bus station daily. Given the social and economic role of this building, the importance of its perfect functioning to ensure the health and safety of the citizen stands out. Therefore, the objective was to analyze and inspect, through photographic records, the pathological manifestations found in the building, together with the performance of tests to determine carbonation in structures and bibliographic reviews. As a result, it was observed that the pillars suffered corrosion and unplacating, the beams presented mold and detachment in the coating, in addition, the roof and masonry also showed signs of infiltration, wear and peeling of the coating. Therefore, it is concluded that the bus station needs structural repairs that certify its integrity.

Keywords: durability; inspection; carbonation; reinforced concrete.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil possui como uma das principais características a busca por evolução e desenvolvimento, seja em seus processos construtivos ou na procura por materiais mais adequados, acessíveis e sustentáveis. Isso acontece por conta da necessidade desse ramo de se reinventar com relação às novas tecnologias e aos desafios constantes, tendo em vista sempre a melhoria da vida útil da obra, assim como a garantia de uma maior economia.

Com isto em mente, reitera-se que a vida útil de uma edificação pode ser influenciada tanto pela degradação natural do meio, quanto pela degradação provocada por ações humanas, prejudicando a resistência à ação do tempo e do uso da construção. Tais consequências apresentam-se em formas de manifestações patológicas, e podem ser vistas em construções através de degradações variáveis que precisam de manutenção.

Não obstante, sabe-se que toda construção passa por manutenções, logo, isto evidencia a necessidade de estudos acerca das manifestações patológicas em obras, abordando suas possíveis soluções, visando a melhoria na qualidade de vida e conforto aos cidadãos. Em concordância a isto, Rocha et al. [1] destacam que é de suma importância que o diagnóstico das manifestações patológicas presentes nas edificações deve estar corretamente fundamentado em análises críticas e investigativas acerca da origem do problema constatado, visando o tratamento mais eficaz para a recuperação da vida útil do material danificado.

No Brasil, visando normatizar meios que norteiam a vida útil e manutenção de uma construção, encontra-se em vigor, desde julho de 2013, a norma ABNT NBR 15575-2: 2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho [2], que estabelece critérios de desempenho e segurança em edificações habitacionais, corroborando assuntos de necessidade à área de patologias. De acordo com Sena et al. [3] as principais vantagens da aplicação desta norma residem na possibilidade que os imóveis têm de apresentarem um tempo de uso maior ao longo do tempo, ou seja, as edificações poderão durar mais em decorrência dos cuidados que serão adotados em sua execução e utilização.

Primeiramente, é importante ter em mente que o objeto de estudo deste artigo encontra-se na cidade de Bacabal, no estado do Maranhão. Tal município está localizado a, aproximadamente, 240 quilômetros de sua capital, São Luís. Além disso, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [4], a área territorial bacabalense é de 1.656,736 km² e sua população estimada é de 105.094 pessoas.

A falta de cultura técnica em empregar ações de manutenção em edificações no Brasil ainda é constante, principalmente em obras de responsabilidade pública. A cidade de Bacabal-MA, foi alvo de uma calamidade, onde a passarela metálica que ligava pontos da cidade sobre o Rio Mearim desabou, que segundo o Portal G1 MA [5] deixou muitos feridos e levou um jovem a óbito, em 04 de abril de 2021. Esse acontecimento enfatiza a importância das vistorias e inspeções em obras de caráter público, visto a necessidade de preservação da estrutura para manter os usuários em segurança.

Logo, destacando a importância de inspeções em obras públicas para aferir as suas necessidades de manutenções e garantir a devida durabilidade e segurança, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso acerca da estação rodoviária do município de Bacabal, no estado do Maranhão, adotando uma metodologia baseada em inspeção visual, ensaios técnicos e revisões bibliográficas, para que se fosse possível destacar as manifestações patológicas apresentadas na edificação e as possíveis causas de sua aparição.

2. PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS

2.1. Elementos estruturais em edifícios de concreto armado

Estruturas de concreto armado são predominantes no Brasil, isto se deve a questões culturais e tradicionais, além do fato de que o concreto armado atualmente atende melhor às necessidades de execução no país, no entanto, outras opções, com estruturas metálicas, estão ganhando cada vez mais espaço no mercado.

Sabe-se que o concreto é composto basicamente de aglomerantes, agregados graúdos, agregados miúdos, e água. Reges, Pitangueira e Silva [6] destacam que a utilidade do concreto está na combinação deste, resistente à compressão, com o aço, resistente à tração, acrescentando que quando se avalia a resposta estrutural, a carga é fundamental para definir um design seguro e econômico para a estrutura de concreto armado.

Não obstante, os elementos estruturais básicos de uma estrutura são: fundações, pilares, vigas e lajes. Com relação a estes elementos, Krüger e Silva [7] definem que: fundações são os elementos responsáveis por transmitir a carga da edificação até o solo, podendo ser divididas em fundação superficial ou profunda; pilares são elementos comprimidos e usados na posição vertical, e são responsáveis por sustentar as cargas advindas das vigas e das lajes, transmitindo-as para as fundações; vigas são elementos estruturais que normalmente sofrem flexão e que transmitem a carga da laje para os pilares; e lajes são elementos planos ou laminares flexionados sujeitos a forças na direção normal ao seu plano.

2.2. Manifestações patológicas em edifícios de concreto armado

Tendo em vista que toda construção está sujeita a agentes degradadores, Sena et al. [3] definem por manifestações patológicas as deteriorações encontradas nas edificações, acrescentando que podem ser geradas durante o período de execução da obra, na elaboração dos projetos desta, ou até mesmo ao longo do tempo por conta de sua utilização.

Dentre as causas com relação à ocorrência de manifestações patológicas nas construções, Ferreira e Lobão [8] destacam que as principais são as deficiências de execução, a má qualidade dos materiais ou o emprego inadequado dos mesmos, uso inadequado da estrutura e manutenção imprópria, acrescentando que os principais tipos dessas manifestações patológicas são: danos por umidade, fissuras, descolamento de rebocos e pisos, gretamento e recalques estruturais.

Segundo Rocha et al. [9] a umidade representa um problema de difícil solução e de grande frequência nas edificações, pode se manifestar de várias formas, como manchas, mofo ou bolor, fissuras, entre outros, e fatores como idade da edificação, clima, materiais, práticas construtivas, e grau de controle de qualidade durante sua execução influenciam o quanto esse tipo de anomalia ocorre.

Paralelo a isso, de acordo com Silva [10] a presença de fungos é preocupante, tendo em vista que estes organismos se alimentam de materiais orgânicos, algumas sujidades e monóxido de carbono que podem estar presentes em superfícies de revestimentos, como tintas e vernizes, logo, podem se apresentar em forma de bolor, que corresponde a manchas superficiais decorrente do acúmulo de fungos, tais manchas podem possuir cores de tonalidades pretas, marrons ou esverdeadas. Silva [10] também destaca que os fungos possuem uma textura que favorece a retenção de água, além de que sua cor favorece a absorção de calor, portanto, é a altamente adaptável a ambientes úmidos ou de temperaturas elevadas.

Sena et al. [3] destacam que a principal causa para o deslocamento de revestimentos é a baixa aderência da base, e evidencia os principais motivos para esta manifestação patológica como: a falta de limpeza do substrato ou a baixa absorção do substrato associada a baixa rugosidade superficial. Becker e Andrade [11] afirmam que apesar do revestimento de argamassa ser uma das técnicas mais antigas e utilizadas, ainda apresenta diversas manifestações patológicas, sendo mais frequentes fissuras e os deslocamentos por falta de aderência, principalmente quando são executados sobre substratos de concreto, e tais manifestações podem ser identificadas pela própria fissura, acompanhada de um som cavo e, em outras ocasiões, pelo deslocamento do revestimento.

Uma das manifestações patológicas frequentemente encontradas em estruturas de concreto armado é a corrosão. Meneses et al. [12] afirmam que esta degradação ocorre quando íons cloretos se acumulam na superfície do concreto e penetram o seu interior lentamente até que cheguem na armadura e, a partir de uma concentração, dissolve a camada de passivação do aço e inicia-se o processo de corrosão, ainda, acrescenta que a fissuração do cobrimento favorece o avanço da deterioração na estrutura afetada.

2.3. Inspeção e ensaio de determinação da carbonatação

O principal objetivo de uma inspeção é classificar o nível de deterioração da estrutura frente às manifestações patológicas apresentadas na mesma. Rocha *et al.* [1] declaram que a análise das manifestações patológicas é de fundamental importância para a atuação necessária na resolução do problema vistoriado, visando a restauração da estrutura, garantindo assim a sua longevidade.

A NBR 15575 [2] é a norma que especifica os procedimentos gerais de desempenho das edificações, onde expõe as características de uma obra, mostrando alguns métodos de inspeção que levam a obra a preservar a segurança estrutural e a vida útil. A norma ainda acrescenta que a inspeção predial de uso e manutenção se trata da investigação do comportamento da edificação quanto ao uso e quando necessário deve-se realizar manutenção preventiva e corretiva através de uma metodologia técnica.

As investigações das manifestações surgem da necessidade de cada obra, tendo em vista que algumas edificações cumprem com o manual de inspeção periódicas e outras perduram por muito tempo sem inspeção e intervenções necessárias. Tendo isso em vista, Tomazeli [13] apresenta uma proposta de inspeção preliminar, inspeção detalhada com

ensaios, análises e parecer técnico sobre a estrutura, e para a realização das inspeções são realizados alguns ensaios como os ensaios tecnológicos, ensaios destrutivos e não destrutivos.

Um ensaio muito comum nas inspeções e utilizado no presente trabalho é o ensaio para determinar a profundidade carbonatada do concreto. Segundo Félix, Carrazedo e Possan [14] a carbonatação é identificada como um fenômeno físico-químico ocasionado por mudanças no concreto, como a redução de permeabilidade e de alcalinidade. O ensaio de determinação da carbonatação é realizado pela aplicação de fenolftaleína no concreto, nele pode ser identificado a presença de CO₂. De acordo com Mascarenhas et al. [15], por se tratar de um material poroso, o concreto está suscetível a penetração de agentes que podem ocasionar a corrosão das armaduras, quando anidrido carbônico, CO₂ entram em contato com as bases do cimento hidratado, o pH dos compostos reduzem e isso passa a permitir a ocorrência da corrosão e, conseqüentemente, a degradação das estruturas.

3. METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado no terminal rodoviário de Bacabal, município do Maranhão, que pode ser visto na Figura 1, e está localizado na travessa Mangueira, próxima à BR-316. A rodoviária está em funcionamento há mais de 45 anos, portanto, se caracteriza por possuir uma estrutura antiga e com baixa frequência de manutenções, onde seu sistema construtivo é de alvenaria convencional, apresentando vigas e pilares de concreto armado, além do telhado de fibrocimento pintado. Para o maior entendimento do prédio em que funciona a Rodoviária em questão, fez-se um croqui, sem escalas, apresentado na Figura 2.



Figura 1 - Rodoviária de Bacabal

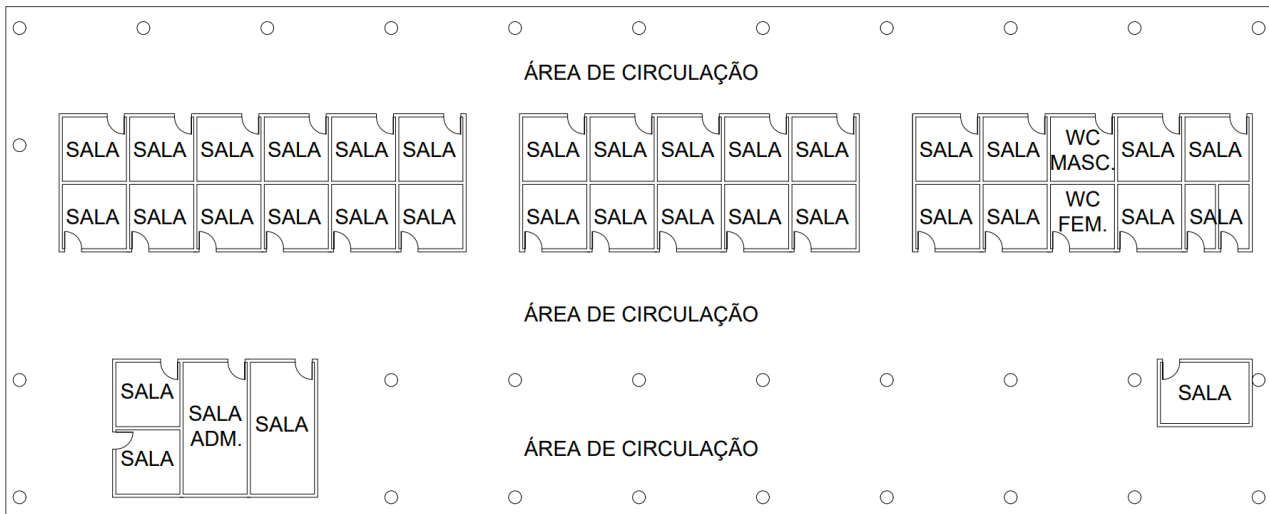


Figura 2 – Croqui da rodoviária (sem escala)

Logo, tem-se que a metodologia aplicada para o desenvolvimento deste estudo efetuou-se em etapas, onde inicialmente foi realizado o estudo de campo, sendo feita uma inspeção visual detalhada, com o objetivo de observar e registrar por meio de fotografias os elementos estruturais da rodoviária, para que assim fosse possível a identificação das manifestações patológicas e suas possíveis causas, e também averiguar o sistema construtivo. Somado a isto, realizou-se o ensaio de determinação da carbonatação em alguns pilares para verificar se ocorria algum processo de corrosão neles. Tal ensaio será feito de forma que, imediatamente após aplicar a fenolftaleína no concreto, ocorrerá uma reação que fará com que o concreto mude ou não de cor, se for constatado a aparição de uma cor rosada na área aplicada não há a ocorrência de corrosão, se a área aplicada pelo líquido continuar incolor, há a ocorrência de corrosão nesta.

Posteriormente, realizou-se pesquisas bibliográficas objetivando o estudo acerca de estruturas de concreto armado e suas principais manifestações patológicas, assim como seus mais frequentes agentes degradadores, para poder ser aplicada no edifício da rodoviária em questão. Tais passos podem ser vistos no fluxograma apresentado na Figura 3 abaixo.

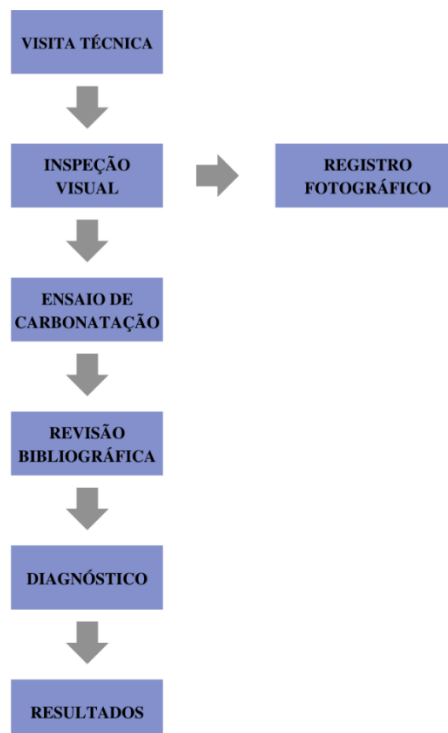
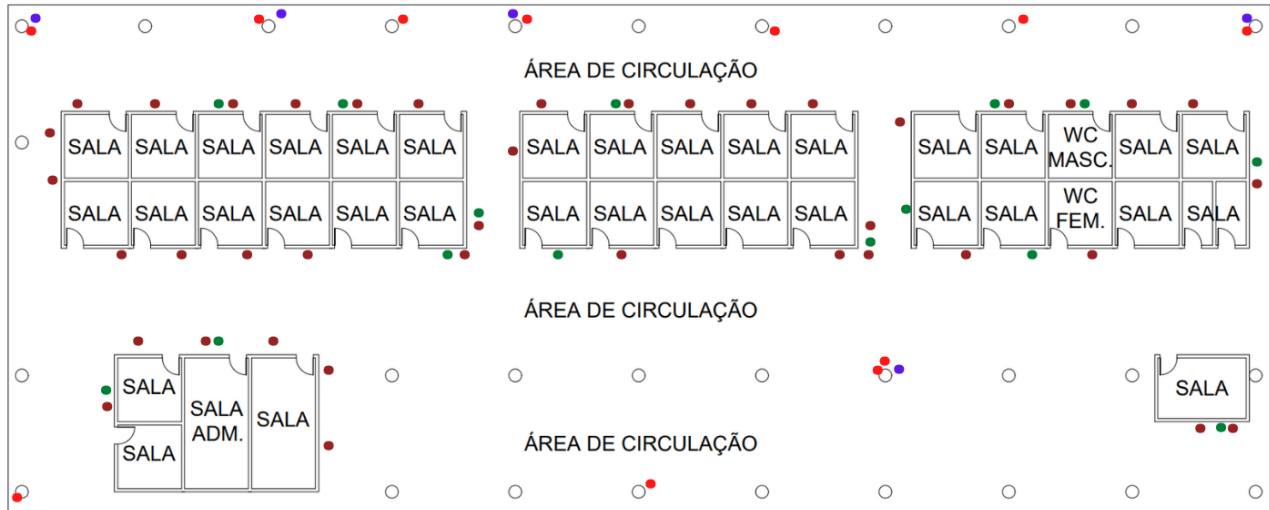


Figura 3 – Fluxograma do método de pesquisa desenvolvido

4. RESULTADOS

Como parte dos resultados, na Figura 4 abaixo, é apresentada uma síntese no croqui das manifestações presentes no edifício, onde cada cor corresponde a uma deterioração diferente, como apresentado na legenda.



LEGENDA:

- Armadura exposta
- Desplacamento do concreto
- Desgaste da pintura/revestimento
- Bolor

Figura 4 - Síntese das manifestações patológicas encontradas na rodoviária

4.1. Pilares

As principais manifestações patológicas estão presentes nos elementos estruturais da construção. Nos pilares estão presentes alguns dos principais danos, como o deslocamento do concreto e armadura exposta e corrosão das mesmas, como pode ser visto na Figura 5.



Figura 5 – Desplacamento do concreto e corrosão da armadura dos pilares

Com o objetivo de identificar as causas dos deslocamentos do concreto, foi realizado o ensaio de carbonatação, presente na Figura 6, com a aplicação de fenolftaleína pode-se observar que os pilares se encontravam carbonatados, pois não houve alteração de cor da substância, o que é característico em ambientes com o pH baixo.

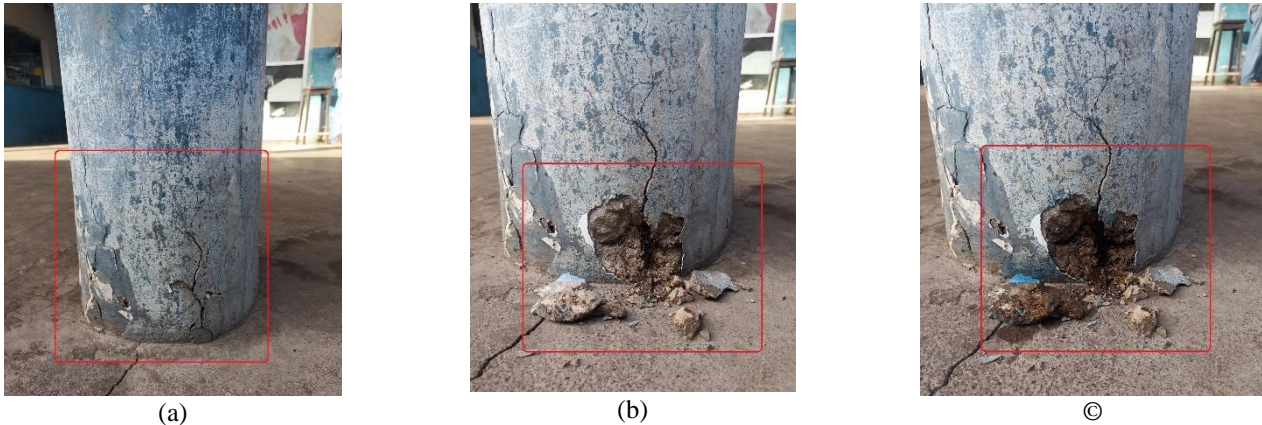


Figura 6 – Sequência do ensaio de determinação de carbonatação da estrutura: (a) escolha da região a ser ensaiada; (b) quebra da superfície de concreto; (c) aspersão de fenolftaleína sem alteração de cor.

Dentre as principais manifestações patológicas presentes nos pilares pode-se destacar a corrosão das armaduras, esse fenômeno pode ter sido ocasionado pelo cobrimento inadequado. A construção está submetida a uma classe de agressividade ambiental de nível II e a NBR 6118 [14] determina que o cobrimento mínimo para os elementos estruturais de concreto armado seja de 3 cm, na Figura 7 é possível verificar que o cobrimento não chega a 2 cm, o que deixa a armadura mais suscetível ao contato com os agentes agressivos do meio ambiente.



Figura 7 – Cobrimento inadequado dos pilares, ocasionando menor proteção à armadura.

A corrosão das armaduras pode ter sido a principal causa dos deslocamentos, mas também outro fator que pode contribuir é a má qualidade do concreto, visto que as áreas de deslocamento, na maioria dos pilares, ocorre na região da base, o que pode fornecer indícios de que não houve um adequado controle de qualidade durante a execução dos mesmos, pois a região da base de pilares tende a se tornar enfraquecida em decorrência da altura elevada de lançamento do concreto (além do limite permitido por norma) e/ou adensamento inadequado, fatores que contribuem para uma segregação da mistura

na região e conseqüente desagregação do material, após endurecido. Fato que pode ser comprovado pela Figura 8 que apresenta essas regiões do concreto com maiores concentrações de agregado graúdo que o restante do elemento estrutural.



Figura 8 – Concentração de agregados graúdos na base dos pilares em decorrência de segregação da mistura durante a fase de lançamento, ocasionando o enfraquecimento da região

4.2. Vigas

Uma das manifestações patológicas encontradas nas vigas foi a formação de bolor em sua estrutura, como pode ser visto na Figuras 9, que pode ter sido decorrente de infiltração advinda da água que escoou pelo telhado, formando umidade ali e adentrando o concreto armado caso este não tenha sido devidamente impermeabilizado. É importante destacar que a alta umidade presente no ambiente que apresenta bolor pode provocar degradações mais sérias, como a corrosão.



Figura 9 - Bolor na viga

Além da formação de bolor, acompanhando a Figura 10, foi constatado também em algumas vigas o deslocamento do revestimento desta, que pode ter sido causado tanto pela má qualidade da argamassa, quanto pela má adesão desta na estrutura da viga.



Figura 10 - Deslocamento de revestimento argamassado e parte do concreto em vigas, contribuindo para uma maior exposição da armadura e perda de durabilidade da estrutura

2.1. Telhado e Alvenaria

O telhado do terminal rodoviário de Bacabal é feito com telhas de fibrocimento pintadas, na Figura 11 pode-se perceber o desgaste do material através do seu descascamento, isto pode acontecer tanto pela falta de manutenção adequada, quanto pelo fato de que é um material antigo, além disso, destaca-se também a infiltração presente em alguns pontos das telhas, o que pode provocar ainda mais a deterioração destas, causando até o surgimento de bolor.

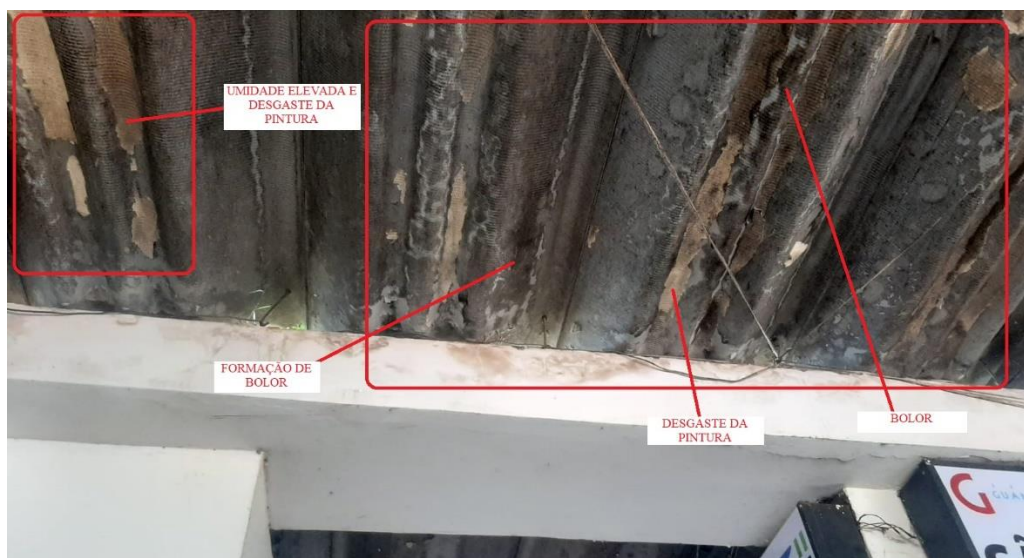


Figura 11 - Manifestações patológicas no telhado

Na alvenaria constatou-se o deslocamento do revestimento nas partes inferiores, representado na Figura 12, que pode ter sido causado pela má aderência deste, mas principalmente por conta da umidade ascendente perceptível que é, geralmente, proveniente do solo devido à falta de impermeabilização adequada das vigas baldrames.



Figura 12 - Ocorrência de desgaste e deslocamento de pintura e revestimento argamassado devido à umidade ascensional.

Na Figura 13 também se pode perceber a formação de bolor nas paredes, que pode ter sido causado pela alta umidade do ambiente e por infiltração, sugerindo também a falta de impermeabilização adequada, e a manutenção adequada.



Figura 13 - Aparecimento de manchas e bolores nos revestimentos.

Tanto na Figura 12 quanto na Figura 13, é constatável manchas nas paredes provenientes de umidade elevada e falta de manutenção, tais ocorrências trazem um desconforto aos cidadãos que transitam pela rodoviária, além de dar um aspecto mais sujo ao local, desvalorizando o edifício.

5. CONCLUSÃO

Com a inspeção realizada na rodoviária, constatou-se que as principais manifestações patológicas se encontram nos elementos estruturais da edificação, tanto os pilares como as vigas encontram-se com deslocamento. Nos pilares a armadura apresenta-se exposta e corroída, e diante dessa situação a construção deveria passar por um plano de manutenção periódica, para assegurar a estabilidade da estrutura e não comprometer a segurança dos usuários.

O telhado e as alvenarias de vedação também apresentam manifestações patológicas que podem comprometer a segurança e a integridade da estrutura. Esses elementos apresentam pontos de infiltração, formação de bolor e desgastes da pintura. Nas telhas é possível notar vários pontos de infiltração e formação de bolor, tais fatores contribuem para a redução da resistência e enfraquecimento do material. Nas paredes é perceptível a ocorrência de infiltração por capilaridade, esse problema pode estar relacionado a falha na execução devido à ausência de impermeabilização da viga baldrame.

Mediante as análises e inspeção realizada pode-se destacar que os processos erosivos nos elementos estruturais e a escassez de manutenção da edificação colaboram para a redução da segurança e mostra a necessidade de grandes e onerosos reparos. Diante da grande importância social e econômica deste edifício destaca-se a importância do bom funcionamento do mesmo. Portanto, conclui-se que o terminal rodoviário de Bacabal necessita de reparos nos elementos da construção, além de manter um plano de ação periódico de manutenção, para certificar a integridade e durabilidade da mesma.

REFERÊNCIAS

- [1] SENA, Gildeon Oliveira de; NASCIMENTO, Matheus Leoni Martins; NETO, Abdala Carim Nabut. **Patologia das construções**. Salvador: 2B educação, 2020. 256p.
- [2] Rocha, E. A.; Macedo, J. V. S.; Correia, P.; Monteiro, E. C. B. (2018). **Adaptação de mapa de danos para edifícios históricos com problemas patológicos: Estudo de Caso da Igreja do Carmo em Olinda PE**. Revista ALCONPAT, 8, 51–63.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: **Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- [4] IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.
- [5] G1 MA. **Ponte desaba e deixa uma pessoa morta em Bacabal, no Maranhão**. 4 abr. 2021. Disponível em: Ponte desaba e deixa uma pessoa morta em Bacabal, no Maranhão; VÍDEO | Maranhão | G1 (globo.com). Acesso em: 30 maio 2022.
- [6] Reges, P. D. N.; Pitangueira, R. L. S.; Silva, L. L. (2022). **RC-INSANE – an interactive environment for nonlinear analysis of reinforced concrete structures**. Revista IBRACON Estrutura e Materiais, 15.
- [7] Krüger, Marcelo Antonio; Silva, Gilsinei da. (2019). **Projeto estrutural de uma residência de dois pavimentos**. Ignis, 8, 21-37.
- [8] Ferreira, J. B.; Lobão, V. W. N. (2018). **Manifestações patológicas na construção civil**. Ciências exatas e tecnológicas, 5, 71-80.
- [9] Rocha, J. H. A.; Santos, C. F. dos; Oliveira, J. B. de; Albuquerque, L. K. dos S.; Póvoas, Y. V. (2018). **Detecção de infiltração em áreas internas de edificações com termografia infravermelha: estudo de caso**. Ambiente Construído, 18, 329-340.

[10] Meneses, R.S.; Moro, J.M.; Alvedaño, R.R.; Ortega, N.F. (2016). **Influência da espessura de cobrimento dos elementos de concreto armado expostos a processos de corrosão e submetidos a cargas externas.** Revista ALCONPAT, 6, 129-144.

[11] Tomazeli, A. (2019). **Estruturas paralisadas de concreto armado de edifícios: inspeção, análise e aceitação.** 1 ed. Editora Leud, 248p.

[12] Félix, E. F.; Carrazedo, R.; Possan, E. (2017). **Análise paramétrica da carbonatação em estruturas de concreto armado via Redes Neurais Artificiais.** Revista ALCONPAT, 7, 302-316.

[13] Mascarenhas, F. J. R.; Cortezão, A. W. S.; Júnior, A. P. A.; Andrade, B. D.; Oliveira, L. F.; Viana, P. S. (2019). **Patologias e inspeção de pontes em concreto armado: Estudo de caso da ponte Governador Magalhães Pinto.** Revista ENGEVISTA, 21, 288-302.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida útil

AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO PELO MÉTODO GDE/UNB: ESTUDO DE CASO EM UMA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL EM SALVADOR, BAHIA

AZEVEDO SÁ, Gabriel¹

¹ GAS Engenharia, Salvador, Brasil, gabrielsa.engenharia@gmail.com, 0000-0002-7042-4576

RESUMO

As construções com estruturas em concreto armado são predominantes no Brasil há algumas décadas. Com o seu envelhecimento natural, sendo muitas delas construídas sob métodos hoje defasados e sem as devidas manutenções, há uma preocupação relevante do meio acadêmico na busca por um melhor entendimento da degradação das estruturas e por técnicas de avaliações mais precisas. Por estes fatores, o presente trabalho possui o objetivo de avaliar a condição atual de uma edificação habitacional em Salvador/BA. A metodologia GDE/UnB foi utilizada com o intuito de identificar e classificar por nível de urgência a eventual necessidade de intervenção nas estruturas, incluindo a determinação de um prazo através do grau de degradação causado pelas manifestações patológicas. As normas atuais, como a ABNT NBR 16747:2020, apresentam roteiros de inspeções, entretanto, os resultados obtidos após as análises podem gerar grande subjetividade a depender do entendimento do profissional. Tais publicações têm uma preocupação maior em determinar metodologias úteis para priorização de ações de intervenção, mas sem a definição de um prazo máximo. Logo, atestou-se a eficácia da metodologia para a avaliação estrutural de edifícios residenciais e concluiu-se que a estrutura em estudo tem um grau crítico de deterioração, devendo ser planejada a intervenção imediata.

Palavras-chave: concreto; manifestações patológicas; deterioração; durabilidade.

ABSTRACT

Constructions with reinforced concrete structures have been prevalent in Brazil for some decades. With their natural aging, many of which were built using outdated methods and without maintenance, there is a concern from the academic community in the search for a better understanding of the degradation of structures and for more accurate evaluation techniques. Therefore, this paper has the objective of evaluating the current condition of a residential building in Salvador/BA. The GDE/UnB methodology was used to identify and classify by level of urgency the eventual need for intervention in the structures, including the determination of an estimated deadline through the degree of degradation caused by pathological manifestations. The current standards, like ABNT NBR 16747:2020, present guidelines for inspections, however, the results obtained after the analysis can generate great subjectivity depending on the professional's understanding. Such publications have a greater concern in determining useful methodologies for prioritizing intervention actions, but without defining a maximum timeframe. Therefore, the effectiveness of the methodology for the structural evaluation of residential buildings was confirmed, and it was concluded that the structure under study has a critical degree of deterioration, and immediate intervention should be planned.

Keywords: concrete; pathological manifestations; degradation; durability.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado são predominantes nas construções brasileiras. O bom custo-benefício dos materiais, a maior disponibilidade de mão de obra especializada e a maior facilidade de manutenção em comparação aos demais tipos de estruturas favorece a utilização desta solução.

De acordo com Ribeiro [1], a evolução do setor construtivo no entendimento sobre a durabilidade das construções possibilitou a preferência pelo concreto armado em relação às estruturas metálicas, à madeira e ao bloco cerâmico. A proteção do aço pelo concreto é um dos fatores preponderantes para mitigar a agressividade sofrida por este material pelo ambiente externo.

Entretanto, segundo Tutikian e Helene [2], apesar das inúmeras vantagens, a aplicação generalizada destes elementos em diversos ambientes sob a ação de variadas solicitações mecânicas possibilitou a identificação de mecanismos de deterioração que propiciam a perda de desempenho das peças, assim gerando custos de manutenção e recuperação. Os problemas de deterioração detectados são oriundos, em grande parte, por erros de projetos – podendo ser gerados por prescrições incorretas presentes em normas antigas quanto ao cobrimento, por exemplo – e falhas na execução e na manutenção.

A ABNT NBR 15575-1 [3] prescreve que todas as estruturas devem ser projetadas para uma vida útil de projeto (VUP) mínima de 50 anos. A VUP é uma estimativa teórica do tempo que o sistema atende aos requisitos de desempenho sob os quais foi projetado e deve ser determinada ainda na fase de projeto de acordo com a tipologia da construção e as normas vigentes aplicáveis. Para que se alcance a vida útil (VU), é necessário considerar alguns aspectos, vindo desde a concepção do projeto até a fase de manutenção.

Ribeiro [1] define a durabilidade como a capacidade do material em resistir às solicitações impostas por mecanismos de degradação previstas na fase de elaboração do projeto estrutural, sejam eles de natureza física, química, biológica ou eletroquímica.

A ABNT NBR 6118 [4] preconiza que as estruturas, quando são utilizadas sob as condições ambientais e de uso previstas, devem atender à vida útil de projeto concebida pelo projetista. Portanto, é fundamental que a concepção da estrutura esteja alinhada às recomendações normativas e os conceitos de boas práticas, que garantam o desempenho da peça durante a vida útil, principalmente quando se trata na correta definição da classe de agressividade ambiental e a especificação dos cobrimentos nominais das armaduras. Já na fase de manutenção, é indispensável a realização de inspeções periódicas para que sejam conhecidas as condições atuais do sistema vistoriado e assim possibilitar um correto diagnóstico das manifestações patológicas antes da execução dos serviços de reparo ou recuperação.

Entretanto, não há uma definição normativa para os prazos recomendados entre inspeções, exceto em algumas cidades que possuem legislação própria, como Salvador. A lei municipal nº 5907, aprovada em 2001, determina um prazo máximo de 5 anos entre as inspeções em edifícios residenciais. Logo, vale ressaltar que, a legislação supracitada não diferencia a periodicidade de acordo com os diversos sistemas presentes numa construção desta tipologia. Neste sentido, a norma ABNT NBR 5674 [5] recomenda a verificação por empresa especializada da integridade estrutural de lajes, vigas e pilares a cada ano.

Na cidade de estudo, Salvador/BA, é corriqueiro observar edificações atingidas por manifestações patológicas relacionadas à deterioração das estruturas de concreto. Por se tratar de uma cidade litorânea e com alta influência da maritimidade, a realização de inspeções periódicas é indispensável para avaliar o desempenho dos componentes estruturais.

Logo, este trabalho tem o objetivo de avaliar a condição atual das estruturas de concreto armado de uma edificação residencial constituída por 7 pavimentos, em Salvador/BA. A identificação das manifestações patológicas, após inspeção visual em áreas comuns do edifício, possibilita a avaliação do grau de degradação das estruturas, aplicando-se a metodologia GDE/UnB. Sua utilização permite determinar a urgência para realização de intervenções através da estipulação de um prazo que varia conforme o grau de criticidade das manifestações patológicas.

Por fim, como forma de entendimento da condição atual da estrutura, é indispensável obter os dados estatísticos relativos aos resultados da aplicação desta metodologia, que indiquem os tipos de danos mais frequentes, níveis de deterioração encontrados e prazos de intervenção recomendados.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi desenvolvida em 1994 por Eliane Castro na Universidade de Brasília, sendo denominada como GDE/UnB, e possibilita a avaliação quantitativa das estruturas a partir do grau de deterioração. Após a aplicação em diversos casos, sofreu melhorias e modificações propostas, sendo a versão de Fonseca (2007) a escolhida para este estudo por ser a mais abrangente e adequada para a edificação inspecionada. O referido método deve ser executado de acordo com o fluxograma abaixo, contendo as etapas sequenciais e obrigatórias para se calcular o grau de deterioração das estruturas (Gd).

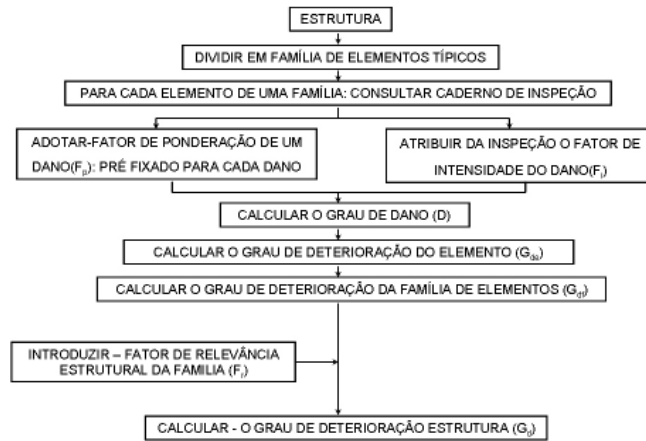


Figura 1 – Fluxograma de etapas do método GDE/UnB [6]

O processo é iniciado pelo cálculo do grau de dano (D) para cada manifestação patológica após divisão em famílias de elementos típicos (pilares, vigas, lajes, etc.), a aplicação de fatores de ponderação pré-fixados conforme o dano e a determinação pelo inspetor de um fator de intensidade de acordo com a classificação das lesões do elemento. Em seguida, calcula-se o grau de deterioração do elemento (Gde) a partir do grau de dano máximo (Dmáx) entre todas as manifestações.

$$D = 0,8F_iF_p \text{ para } F_i \leq 2,0$$

$$D = (12F_i - 28)F_p \text{ para } F_i \geq 3,0 \quad (1)$$

$$G_{de} = D_{máx} \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_i(t) - D_{máx}}{\sum_{i=1}^m D_i(t)} \right] \quad (2)$$

onde:

D = grau de dano

G_{de} = Grau de deterioração do elemento

D_{máx} = grau de dano máximo

F = fatores de ponderação

O cálculo realizado anteriormente permite que cada elemento estrutural seja classificado de acordo com um nível de deterioração específico explicitado na tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura [6]

| Nível de deterioração | Gd | Ações a serem adotadas |
|-----------------------|----------|---|
| Baixo | 0 - 15 | Estado aceitável. Manutenção preventiva |
| Médio | 15 - 50 | Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos) |
| Alto | 50 - 80 | Definir prazo/natureza para nova inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano) |
| Sofrível | 80 - 100 | Definir prazo/natureza para nova inspeção especializada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses) |
| Crítico | > 100 | Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata. |

O grau de deterioração da família de elementos (G_{df}) é calculado a partir da interpretação dos valores de G_{de} com a tabela 1. Desconsideram-se os elementos com nível de deterioração baixo (G_{de} inferior a 15), pois estes apresentam estado de conservação aceitável, assim necessitando somente de acompanhamento periódico.

$$G_{df} = G_{de\text{máx}} \left[\sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{de\text{máx}}}{\sum_{i=1}^m Fr(i)}} \right] \quad (3)$$

onde:

G_{df} = Grau de deterioração de uma família de elementos

G_{de} = Grau de deterioração de um elemento

Segundo Fonseca [6] o fator de relevância estrutural da família (Fr) é introduzido para considerar a importância relativa dos diferentes tipos de famílias de elementos que compõem a estrutura.

Tabela 2 – Fatores de Relevância Estrutural (Fr) [6]

| Famílias em Conjunto | Fatores de Relevância Estrutural (Fr) |
|---|---|
| Elementos de composição arquitetônica | 1,0 |
| Reservatório superior | 2,0 |
| Escadas/rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias, juntas de dilatação | 3,0 |
| Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários | 4,0 |
| Vigas e pilares principais | 5,0 |

Por fim, é o momento de calcular o grau de deterioração da estrutura (G_d), sendo utilizada a tabela 1 a fim de determinar o nível de deterioração global da estrutura e os prazos máximos para planejamento das intervenções.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^K Fr(i) \cdot G_{df(i)}}{\sum Fr(i)} \quad (4)$$

onde:

Fr = fator de relevância estrutural

G_{df} = Grau de deterioração de uma família de elementos

G_d = Grau de deterioração da estrutura

3. ESTUDO DE CASO

O pavimento de garagem tem o maior número de manifestações patológicas estruturais do edifício. Por isso, determinou-se como fator limitante a análise deste trecho por apresentar um grau de degradação representativo e sua estrutura ser mais exposta às intempéries, sendo um fator impactante na durabilidade dos elementos. As demais áreas não apresentam danos aparentes úteis para o trabalho. As inspeções serão realizadas com caráter sensorial, assim não sendo capazes de indicar vícios ocultos ou sintomas que possam ser avaliados somente por ensaios específicos.

A seguir serão discriminados todos os cálculos feitos para a avaliação da estrutura, sendo apresentadas as características relevantes da edificação, o cadastro dos elementos a partir de croqui da garagem e o registro fotográfico.

3.1 Ficha descritiva

A ficha descritiva da edificação e o croqui da área de estudo foram feitos de acordo com o roteiro disponibilizado por Fonseca [6] e inspeções datadas de janeiro de 2021:

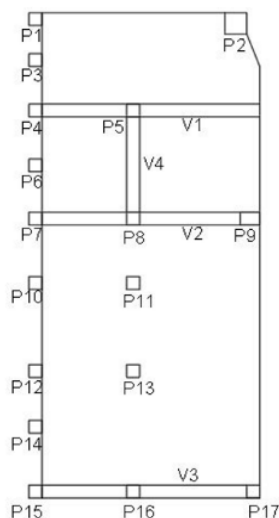


Figura 2 – Croqui dos elementos estruturais da garagem

Tabela 3 – Ficha descritiva da edificação

| Ficha Descritiva | |
|-----------------------------------|--|
| Edificação | Edifício Amana |
| Localização | Rua Hélio Oliveira, 682, Santa Teresa, Salvador/BA |
| Uso | Residencial |
| Idade | 32 anos |
| Pavimentos | 7 unidades |
| Sistema construtivo | Estruturas de concreto armado moldados in loco. |
| Classe de agressividade ambiental | Classe III (NBR 6118:2014, tabela 6.1) |
| Observações | A edificação já sofreu alguns reparos pontuais sem a contratação de empresa especializada. A garagem é afetada por problemas antigos de infiltração de umidade oriundas por falhas de impermeabilização no pavimento superior. Ausência de projetos estruturais. |

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente item serão desenvolvidas as análises cabíveis para a interpretação da condição atual da estrutura através dos resultados obtidos após a realização de todas as etapas prescritas pela metodologia Gde/UnB.

4.1 Levantamento de dados e anamnese da edificação

A edificação estudada sofreu poucas intervenções, sendo nenhuma delas de cunho estrutural, apenas pequenos reparos em localizados. Não existe projeto estrutural disponível, assim sendo um fator limitante para um melhor embasamento e caracterização da estrutura da edificação antes das intervenções. Contudo, em alguns casos, principalmente em reforços estruturais, é necessário ainda o auxílio de equipamentos específicos como o pacômetro a fim de coletar os dados com maior precisão e oferecer maior quantidade de informações antes da etapa executiva.

Na época de entrega do empreendimento avaliado, a norma de estruturas de concreto válida era a ABNT NBR 6118:1980. Neste período ainda era incipiente o estudo da durabilidade das construções e alguns fatores, hoje bastante conhecidos, que influenciam na mitigação da deterioração das estruturas, como o cobrimento da armadura e o fator água/cimento, apresentavam prescrições consideravelmente menos rígidas à norma em vigor atualmente.

Tutikian e Helene [2] concluem que a redução do fator água/cimento é a principal variável para reduzir a porosidade do concreto e torna-lo menos suscetível ao ingresso de agentes agressivos que atacam tanto as armaduras, quanto o próprio concreto. Além disso, ressaltam a influência da camada de proteção à armadura, denominada cobrimento, devendo ser mais espessa de acordo com o aumento da agressividade do ambiente o qual o elemento está inserido.

Como já foi citado anteriormente, a edificação em estudo está inserida num ambiente de agressividade forte (classe III) pela classificação adotada na NBR 6118:2014. Entretanto, há um estudo realizado na cidade de Salvador por Vilasboas e Machado [7], que traz uma visão mais realista da agressividade dos ambientes a partir da análise das regiões do município com maior número de ocorrência de manifestações patológicas em estruturas de concreto. Os resultados obtidos pelo autor permitiram elaborar um zoneamento dos diferentes níveis de agressividade ambiental presentes na cidade. Logo, o edifício em análise está inserido numa zona de moderada a forte agressividade de acordo com o mapeamento realizado pelos autores. Desse modo, verificou-se que há um alinhamento em comparação à classificação normativa.

Ademais, se a edificação estivesse numa zona mais agressiva e com maior incidência de respingos de maré e spray marinho, cresceria a probabilidade de uma deterioração mais intensa. Entretanto, as garagens são locais com altos teores de agentes agressivos, oriundos da concentração dos gases emitidos pelos veículos. Em casos de maior emissão pode ser necessária a consideração da classe de agressividade como “muito forte” devido ao risco de deterioração elevado da estrutura pela criação de um microclima com altos teores de substâncias danosas ao concreto armado, como em estacionamentos de shoppings, supermercados e outros estabelecimentos.

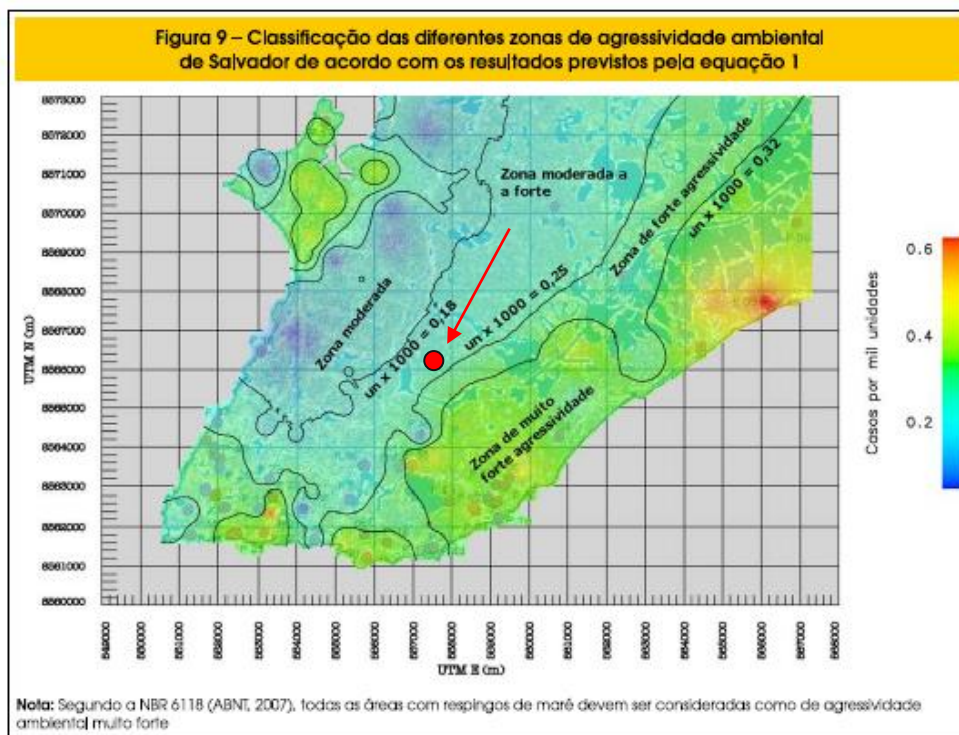


Figura 3 – Região da edificação avaliada [7]

A ABNT NBR 6118:2014 [4] apresenta valores de cobertura superiores àqueles considerados na época do projeto do empreendimento avaliado (versão anterior datada de 1980). Por exemplo, admitia-se cobertura reduzida para 2,0cm (casos de vigas, pilares e arcos ao ar livre) quando o elemento fosse revestido por argamassa com espessura mínima de 1,0cm. Para as prescrições em vigor, o cobertura mínima seria de 4,0 cm para a edificação avaliada. Apenas por esta comparação, já são perceptíveis as diferenças na preocupação e na relevância da proteção das estruturas visando uma maior durabilidade e atingimento da vida útil estipulada em projeto.

É justamente por esses motivos que os principais danos verificados no estudo de caso foram relacionados ao cobertura deficiente, a corrosão das armaduras e o deslocamento, sendo os últimos dois influenciados diretamente pela ocorrência do primeiro.

4.2 Aplicação da metodologia GDE/UnB em edificação residencial

Num primeiro momento foram levantados todos os elementos visíveis presentes na garagem e ao final desta atividade, as peças estruturais com danos foram discriminadas e apontadas em vermelho conforme tabela 4.


Tabela 4 – Elementos estruturais com danos visíveis

| Elementos estruturais com danos | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Pilar | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 |
| Viga | V1 | V2 | V3 | V4 | | | | | | | | | | | | | |
| Laje | L1 | | | | | | | | | | | | | | | | |

É possível identificar a presença de danos em 55% dos elementos, um teor considerável em relação ao total. Entretanto, os cálculos para conhecimento dos níveis de deterioração possuem uma maior objetividade para avaliação da degradação estrutural da edificação. A seguir é possível visualizar uma das tabelas elaboradas para cada dano, de acordo com as recomendações de Fonseca [6], as quais têm o objetivo de determinar o nível de deterioração atual por meio do cálculo do fator Gde.

Em seguida, calculou-se o grau de deterioração de uma família de elementos para obter-se o grau de deterioração da estrutura, que pode ser visto na tabela 5.

Tabela 5 – Tabela de avaliação de elementos por meio da metodologia GDE/UnB

| Nome do Elemento | Laje L1 | | | Croqui/Observações |
|------------------------------|----------------|----|-------|--|
| Local | Garagem | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | |
| cobrimento deficiente | 3 | 2 | 4,8 |  |
| corrosão de armaduras | 5 | 4 | 100,0 | |
| desplacamento | 3 | 3 | 24,0 | |
| eflorescência | 2 | 2 | 3,2 | |
| umidade | 3 | 3 | 24,0 | |
| Gde | 135,90 | | | |
| Nível de deterioração | Crítico | | | |

O resultado final da avaliação estrutural pela metodologia GDE/UnB indica uma estrutura com nível crítico, valor Gd igual a 146,72. Assim, em atendimento aos níveis da tabela, é indispensável a realização de inspeção emergencial para possibilitar o planejamento de intervenção imediata.

Tabela 6 – Cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura (Gd)

| Família | Gdf | Fr | (Gdf x Fr) |
|-------------|----------|----------|----------------|
| Laje | 135,90 | 4 | 543,58974 |
| Pilares | 179,25 | 5 | 896,24825 |
| Vigas | 122,8587 | 5 | 614,29342 |
| Soma | | 14 | 2054,1314 |
| Gd | | 146,7237 | Crítico |

4.3 Análise técnica e estatística das manifestações patológicas

O estudo em questão possui 22 elementos estruturais visíveis na garagem, dentre eles 17 pilares, 4 vigas e 1 laje. Observou-se a ocorrência de manifestações patológicas em 13 peças, sendo 9 pilares, 2 vigas e 1 laje –, cerca de 60% do total. Nos elementos foram observados variados tipos de danos, tais como: corrosão de armaduras, deslocamento, cobrimento deficiente, umidade, desagregação, eflorescência e manchas.

O trecho entre os pilares P1 e P15 sofre ação agressiva mais contundente que os demais devido à sua exposição e consequente falha na impermeabilização do pavimento superior. É possível identificar manchas de umidade, desagregação do revestimento e presença de agentes biológicos em diversos elementos. O baixo cobrimento, a influência da umidade e a falta de manutenção na impermeabilização e nas peças foram variáveis aceleradoras da deterioração da estrutura.

Os resultados obtidos pela metodologia GDE/UnB apresentam a ocorrência de 4 danos em mais de 50% dos elementos, sendo eles: corrosão de armaduras (90,9%), deslocamento (90,9%), cobrimento deficiente (63,6%) e umidade (54,5%). Em grande parte das estruturas com armaduras em processo de corrosão, constatou-se a perda de seção das mesmas, assim reforçando a necessidade de uma avaliação mais invasiva para medir a influência desta irregularidade na estrutura. A introdução de armaduras complementares ou eventuais reforços estruturais são as medidas mais comuns em caso de necessidade de intervenção.

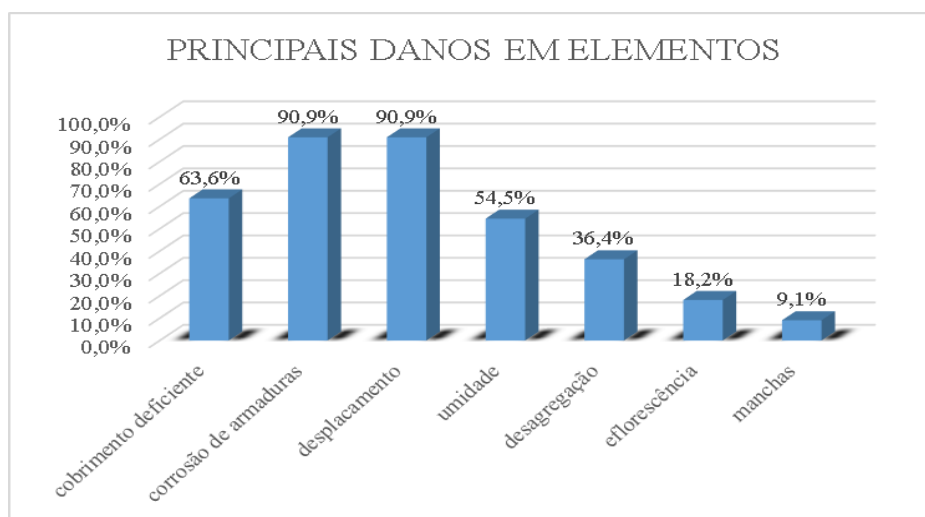


Figura 5 – Gráfico de principais danos em elementos estruturais

De acordo com Ribeiro [1], o processo de corrosão eletroquímica ocorrido nas armaduras forma produtos expansivos, gera forças de tração no concreto superiores e provoca fissuras no elemento. A evolução deste processo ocasiona o deslocamento do concreto e sua queda na superfície. É uma manifestação patológica de alto risco para transeuntes e veículos, pois seu impacto pode causar danos fisiológicos e materiais irreversíveis.

Já o cobrimento deficiente é uma irregularidade que contribui bastante para a corrosão das armaduras e para o deslocamento do concreto pelo fato da baixa espessura de cobrimento acelerar o contato dos agentes agressivos com as barras de aço. Entre os demais danos constatados, verificou-se também que a umidade, a eflorescência e as manchas são relacionadas às falhas de impermeabilização.

4.4 Grau de deterioração pela metodologia GDE/UnB

Na classificação dos níveis de deterioração de cada elemento, nota-se que há uma maior frequência, respectivamente, dos indicadores crítico (45%), médio (45%) e alto (10%). Dentre as peças classificadas em estado crítico, a corrosão de armaduras é responsável por grande parte da composição do grau de deterioração (Gde). Já os elementos integrantes do grau médio sofrem processo de corrosão em menor intensidade ($F_i=3$) ou não são acometidos por tal dano, assim confirmando que essa é a manifestação patológica mais relevante para a edificação de estudo avaliada pela metodologia GDE/UnB.

A viga V2, único elemento classificado em nível de deterioração alto, não sofre de corrosão com o fator máximo de influência (4), mas com F_i igual a 3. Então, conclui-se que a presença de outras irregularidades, como eflorescência e manchas, possibilitaram um grau de deterioração superior às demais peças com condições danos similares.

Os resultados obtidos não consideraram a influência da carbonatação e a presença de cloretos pelo fato da inspeção ser realizada de forma sensorial (visual), como citado anteriormente, e mesmo assim, a estrutura apresenta diversos elementos em nível crítico.

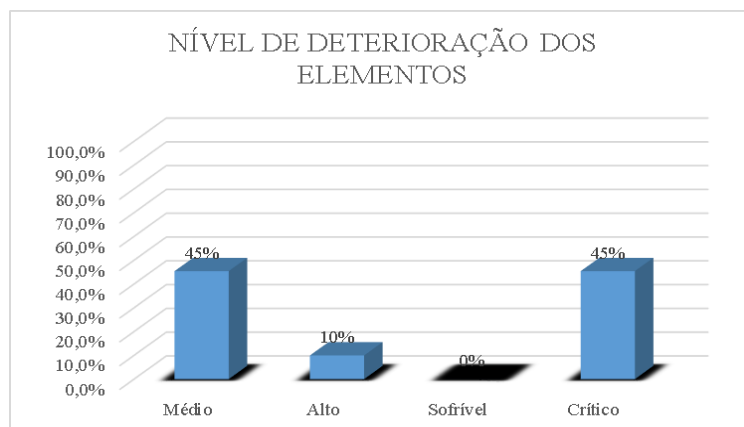


Figura 6 – Gráfico de nível de deterioração dos elementos

Diante dos cálculos e fatos expostos ao longo da aplicação da metodologia, é necessário o planejamento imediato de uma intervenção para a edificação avaliada. Por ser uma edificação residencial, o grau de periculosidade é ainda maior e essa questão deve ser tratada com urgência por todos os responsáveis.

4.5 Validação da utilização da metodologia GDE/UnB em edificação residencial

Atualmente, no mercado de inspeções em edifícios residenciais é possível identificar a predominância da utilização da matriz GUT, que relaciona a gravidade, a urgência e a tendência como ferramenta para auxiliar na futura resolução dos problemas e prescrição de intervenções, organizando-os por patamares de prioridades. Entretanto, a referida metodologia não define prazos para inspeções e intervenções nas estruturas, até pelo fato de ser direcionada à priorização/ordenação dos serviços de manutenção. Logo, os prazos de intervenções são determinados pelos profissionais envolvidos na vistoria, o que confere um grau de subjetividade nos resultados das inspeções. Para o caso exposto neste trabalho, no qual o objetivo principal trata-se de uma avaliação das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, a utilização da metodologia GDE/UnB é mais apropriada do que a matriz GUT.

5. CONCLUSÃO

A aplicação da metodologia GDE/UnB mostrou-se satisfatória para avaliar as estruturas da garagem da edificação designada. O método foi desenvolvido e aplicado nas mais variadas construções, entretanto é necessária uma aplicação mais generalizada em edificações residenciais.

A realização de ensaios técnicos influenciará numa maior precisão dos resultados da referida metodologia, citando aqui principalmente: o teste com fenolfaleína para identificação de carbonatação e a aspersão de nitrato de prata para atestar a presença de cloretos. Ambos os ensaios devem ser realizados, de forma imediata para o caso em questão, como meio de garantir uma análise mais precisa sobre as causas dos danos e na definição das manutenções corretivas.

O nível de deterioração da estrutura foi avaliado como crítico e de acordo com a metodologia adotada, o prazo de planejamento das intervenções é imediato, havendo risco para os usuários da edificação. Dentre os principais fatores para a degradação identificada, a falta de manutenção é evidente. Nota-se que o nível de deterioração das estruturas tende a diminuir ao passo que os elementos com grau de deterioração mais elevados sejam recuperados. É recomendada também a elaboração de um plano de manutenção para as estruturas da edificação, em atendimento à norma NBR 5674:2012, incluindo a realização de inspeções periódicas nos elementos a fim de garantir a segurança dos usuários e prevenir o agravamento dos danos.

A produção de mais trabalhos em edificações residenciais na cidade de Salvador com a utilização desta metodologia é fundamental para atestar sua eficácia em edifícios similares. Além disso, pode ser realizado um estudo comparativo a partir do grau de deterioração da estrutura após a realização de intervenções. Outra sugestão seria a análise de patrimônios públicos e de outras construções residenciais sob maior influência de zonas mais agressivas, como áreas de respingos de maré ou industriais.

REFERÊNCIAS

- [1] Ribeiro, Daniel Vêras. **Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto Armado: teoria, controle e técnicas de análise e intervenção**. Rio de Janeiro: LTC, 2020.
- [2] Tutikian, Bernardo Fonseca e Helene, Paulo Roberto Lago. **Patologia de Estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- [3] Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15575-1: **Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2021.
- [4] Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- [5] Castro, Eliane Kraus. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**. Brasília: UnB, 1994.
- [6] Fonseca, Régis Pamponet da. **A Estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção**. Brasília: UnB, 2007.
- [7] Vilasboas, José Marcílio Ladeia e Machado, Sandro Lemos. **Uma proposta da agressividade ambiental para a cidade de Salvador-BA**. São Paulo: IBRACON, 2010.
- [8] Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1980.
- [9] Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 5674: **Manutenção de edificações**. Rio de Janeiro, 2012.
- [10] Galvão, Rafael Rocha e Silva, Francisco Gabriel Santos. **Avaliação de Degradação de Estruturas de Concreto em Duas Garagens de Edifícios Residenciais pelo Método GDE/UnB**. Fortaleza: CINPAR, 2021.
- [11] Nunes, Heloísa da Silva e Cerqueira, Milena Borges dos Santos. **Avaliação de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado em Ambientes Marinhos: Estudo de Caso do Píer Salvador/Hidroporto da Ribeira**. Salvador: BADUCON, 2020.
- [12] Vilas Boas, Edna Lopes Brandão e Nascimento, Matheus Leoni Martins do. **Aplicação de Metodologia GDE/UnB em uma edificação habitacional: estudo de caso em Águas de Lindas de Goiás-GO**. São Paulo: IBRACON, 2018.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e vida útil

ANÁLISE DE REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS, UTILIZANDO O ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO ATRAVÉS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA

SILVA, Denise de Sousa¹
ALVES, Nielsen José Dias²

¹ UniCeub, Brasília, Brasil, denise.sousa@sempreceub.com, 0000-0002-6544-1419

² UFRN, Rio Grande do Norte, Brasil, nielsen.alves@ceub.edu.br

RESUMO

Com o estudo das Patologias em revestimentos argamassados, têm-se buscado cada vez mais a utilização de ensaios não destrutivos (END) para o diagnóstico e terapia das edificações. As manifestações patológicas em revestimentos argamassados podem estar relacionadas à rigidez do sistema, as quais necessitam de controle desde às propriedades no estado fresco ao endurecido, tais como: vazios capilares, espaços interlamelares, teor de ar incorporado, grau de hidratação da pasta, teor de cimento e cura. Neste trabalho, analisou-se o módulo de elasticidade dinâmico por transmissão direta pela propagação de ondas longitudinais em corpos-de-prova em 8 (Oito) canteiros de obras distintas na cidade de Brasília-DF e 1 (Um) na cidade de Goiânia-GO, com o total de 18 corpos-de-prova (Dois de cada obra), com dois tipos de argamassas: estabilizada e industrializada. Estando portanto, sujeitos às condições climáticas distintas. O ensaio mostrou-se fidedigno, posto que por meio dos resultados verificou-se que quanto menor o módulo de elasticidade dinâmico, maior é a capacidade de absorver deformações e quanto mais elevado o módulo de elasticidade dinâmico, menor é a capacidade de absorver deformações, sendo necessário haver um equilíbrio, para atender aos requisitos.

Palavras-chave: Módulo de elasticidade dinâmico. Argamassa. Onda ultrassônica.

ABSTRACT

With the study of pathologies in mortar coatings, the use of non-destructive testing (NDT) has been increasingly sought for the diagnosis and therapy of buildings. The pathological manifestations in mortar coatings may be related to the rigidity of the system, which require control from the fresh to the hardened state properties, such as: capillary voids, interlamellar spaces, content of incorporated air, degree of hydration of the paste, cement content and cure. In this work, the dynamic modulus of elasticity was analyzed by direct transmission through the propagation of longitudinal waves in specimens in 8 (Eight) different construction sites in the city of Brasília-DF and 1 (One) in the city of Goiânia-GO, with a total of 18 specimens (Two from each site), with two types of mortars: stabilized and industrialized. Therefore, subject to different climatic conditions. The test proved to be reliable, since through the results it was verified that the lower the dynamic modulus of elasticity, the greater is the capacity to absorb deformations and the higher the dynamic modulus of elasticity, the lower is the capacity to absorb deformations, being necessary to have a balance to meet the requirements.

Keywords: Dynamic elastic modulus. Mortar. Ultrasonic wave.

1. JUSTIFICATIVA

A durabilidade das argamassas está relacionada a diversos fatores, tais como: condições climáticas, movimentações térmicas e em alguns casos, agentes agressivos biológicos. O desempenho do sistema pode ser afetado negativamente quando não considerados os parâmetros de: controle de produção, granulometria, reologia, trabalhabilidade, cura, deformabilidade e elasticidade, fazendo com que as propriedades nos estados fresco e endurecido sejam prejudicadas, comprometendo a VUP (Vida útil de projeto).

A ABNT NBR 15575-1 [2] estabelece que a VUP mínima para vedação vertical externa, deve ser maior ou igual a 40 anos, e para vedação vertical interna, maior ou igual a 20 anos; evidencia-se desta maneira a importância do controle tecnológico do revestimento argamassado.

Para isto, o ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico por ultrassom age de maneira preventiva e corretiva: na primeira com o objetivo de garantir a elasticidade adequada e na segunda com o fim de avaliar a causa, fornecendo um diagnóstico preciso, permitindo avaliar qualitativamente as propriedades mecânicas (estado endurecido) do revestimento.

O ensaio do módulo de elasticidade dinâmico por ultrassom se dá por uma onda mecânica longitudinal, na qual as oscilações acontecem na direção de propagação da onda; diferentemente de ondas transversais, nas quais as oscilações acontecem em uma direção perpendicular à direção de propagação da onda. Halliday et al. [12].

Dentre os métodos possíveis (Estático e dinâmico) para verificação do módulo de elasticidade, a presente discussão dedica-se a determinar o módulo de elasticidade através do método dinâmico por transmissão direta.

1.2. Princípio do método de transmissão direta

Transmissão direta (Fases opostas) - quando possível, o arranjo da transmissão pode ser usado quando a transferência de energia entre os transdutores está no máximo e a precisão da determinação da velocidade é governada principalmente pela precisão do caminho do comprimento medido, os posicionamentos dos transdutores devem ser nas faces opostas.

i. Objetivos gerais

Têm-se como objetivo geral, estabelecer correlações entre as velocidades de pulso ultrassônico em função do tempo e módulo de elasticidade dinâmico.

ii. Objetivos específicos

Analisar os revestimentos argamassados, verificando se houve manifestações patológicas, caracterizando-os e qualificando-os em função da velocidade de pulso ultrassônico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

i. Deformabilidade

Diversos autores Cincotto et al. [9], Carasek [8], Bastos [4] e Selmo [18], afirmam que a deformabilidade pode ser definida como a capacidade de deformação apresentada pela argamassa sem que ocorra ruptura; devido a isto, os revestimentos devem ter capacidade para receber estas deformações, estando diretamente relacionada ao módulo de elasticidade.

A capacidade de deformação é uma propriedade no seu estado endurecido, o requisito é que esta se deforme sem ocorrer ruptura, quando estão solicitadas e o material retorna ao estado original está na fase elástica, já quando não retornam ao estado original considera-se a fase plástica. Selmo [18], Godoy e Barros [11].

ii. Características nos estados fresco e endurecido

Por conseguinte, características como: traço, dosagem e mão-de-obra, são fatores que influem diretamente no módulo de elasticidade. De acordo com estudos realizados por Carasek et al. [8] quando há um alto teor de cimento da argamassa, esta pode vir a deslocar do substrato, causando prejuízos tanto financeiros quanto interferindo na segurança, habitabilidade e conforto dos usuários.

Estudos realizados por Bauer e Silva [6] com aplicação da argamassa em distintos substratos para verificar a intensidade de fissuração nos revestimentos argamassados, mostraram que aquelas que foram dosadas com alto teor de cimento, houve fissuração de média a baixa, por consequência não atendeu aos requisitos de desempenho.

Neville [16] examinou esta característica em corpos-de-prova de concreto, verificou-se que independentemente das dosagens ou tempo de cura, os corpos-de-prova testados em condições úmidas apresentam um módulo de elasticidade maior que os corpos-de-prova correspondentes, testados em condições secas; isto é explicado pois as propriedades da matriz da pasta de cimento são diferentes nos estados fresco e endurecido. Mehta [15].

iii. Módulo de elasticidade

O ensaio de determinação do módulo de elasticidade através do método dinâmico, apresenta diversas vantagens quanto a: facilidade de execução, não destrutibilidade e eficácia nos resultados; admitindo a possibilidade de ser realizado o ensaio em um mesmo corpo-de-prova em idades diferentes, sendo apropriado deste modo, acompanhar a evolução das propriedades mecânicas. Bastos [10], Araújo Jr [3].

Em análise realizada por Hickel et al. [13] em argamassas de diferentes tipos e em idades distintas, obteve-se boa correlação entre ensaios destrutivos e não destrutivos, avaliando de forma quantitativa e qualitativa; dentre os ensaios realizados, o ensaio do módulo de elasticidade dinâmico apresentou de forma mais precisa a previsão de resistência à compressão, deste modo os END's mostraram-se de fácil execução, admitindo a realização in loco.

3. METODOLOGIA DO TRABALHO

O ensaio consiste na determinação do módulo de elasticidade dinâmico em 18 corpos-de-prova, utilizando-se do aparelho 58-E4800 (Ultrasonic pulse velocity tester) – CONTROLS com os procedimentos parametrizados pela ABNT NBR 15630/2009 [1]. Estes, realizados no Laboratório de Solos e Materiais do UniCeub.

3.1 Recolhimento dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram coletados nas obras, sendo estes de argamassas estabilizadas e industrializadas, de acordo com a necessidade de cada uma, analisando as propriedades no estado endurecido.

Será analisado o módulo de elasticidade dinâmico e velocidade de pulso ultrassônico destes tipos de argamassas, verificando se há alguma correlação que pode ser adotada como parâmetro de qualidade.

3.2 Procedimentos de ensaio

- Calibrou-se o aparelho 58-E4800 (Ultrasonic pulse velocity tester), ao tempo de 58,00 μ s;
- Com o paquímetro, mediu-se as dimensões de cada corpo-de-prova;
- Com a balança digital, determinou-se a densidade de massa aparente dos corpos-de-prova.;
- Aplicou-se camada de gel (acoplante) de contato na superfície dos transdutores, posicionando-os centralizados nas faces opostas dos corpos-de-prova;
- Realizou-se a leitura três vezes em cada corpo-de-prova sob condição seca;
- Dentre as três leituras realizadas considerou-se a menor, para cada corpo-de-prova.

Para o cálculo da velocidade considerou-se a seguinte equação dada pela ABNT NBR 15630 [1]:

$$V = \frac{L}{t} \quad (1)$$

onde:

V - é a velocidade de propagação da onda ultrassônica, expressa em milímetros por microssegundos (mm/ μ s), arredondando a segunda casa decimal

L - é a distância entre os pontos de acoplamento dos transdutores (comprimento do corpo-de-prova), expressa em milímetros (mm)

t - é o tempo registrado pelo mostrador digital, expresso em microssegundos (μ s)

Para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico, considerou-se a seguinte equação, dada pela ABNT NBR 15630 [1]:

$$E_d = v^2 \rho \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu} \quad (2)$$

onde,

E_d - é o módulo de elasticidade dinâmico, expresso em giga Pascal (GPa)

v - é a velocidade de propagação da onda ultrassônica, expressa em milímetros por microssegundos (mm/μs)

ρ - é a densidade de massa aparente do corpo-de-prova, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³)

μ - é o coeficiente de Poisson (Adota-se nesta equação o valor de 0,2 conforme ABNT NBR 15630 [1])

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Figura 1 os dados se adequaram melhor a uma equação linear, com $R^2 = 0,98$ ou 98% mostrando precisão nos ensaios. Neste gráfico pode ser visto uma concentração de 6 corpos-de-prova na parte central, os quais estão com $v_m = 2.250$ m/s, 2 corpos-de-prova na lateral direita com $v_m = 3.015$ m/s.

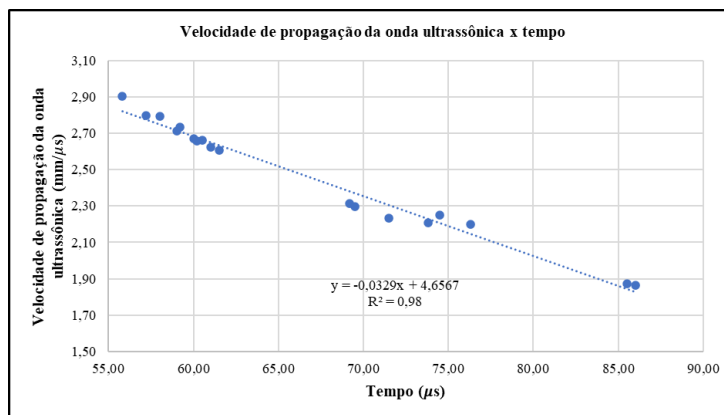


Figura 01. Correlação entre a velocidade de propagação da onda ultrassônica x tempo.

Os dados obtidos foram inseridos nas tabelas que se seguem:

Onde:

L , é o comprimento em (mm)

ρ_{max} , é a densidade em (Kg/m³)

t_{menor} , é o tempo em (μs)

V , é a velocidade em (mm/μs)

E_d , é o módulo de elasticidade dinâmico em (GPa)

Analisando a Tabela 1 tem-se:

- Na Tabela 1, com um coeficiente de variação da velocidade de 0,77%, desvio padrão amostral de 1,7%, v_m 2,22 (mm/us) e módulo de elasticidade dinâmico médio 7,47 GPa, este valor enquadra-se dentre os aceitáveis por métodos empíricos assim o revestimento tem capacidade de absorver deformações sem fissuração, conforme Cincotto et al. [9];
- O CP 1, mostrou-se com maior compacidade em relação ao CP2.

Tabela 1. Dados obtidos corpos-de-prova - Obra 1

| CP N° | 1 | 2 | Média |
|-----------------------------------|--------|--------|---------|
| L (mm) | 159,54 | 162,90 | |
| ρ_{max} (Kg/m ³) | 1702,4 | 1667 | 1684,93 |
| t_{menor} (μs) | 71,50 | 73,8 | |
| V (mm/μs) | 2,23 | 2,21 | |
| E_d (GPa) | 7,63 | 7,31 | 7,47 |

Analisando a Tabela 2 tem-se:

- Na Tabela 2, com um coeficiente de variação da velocidade de 2,61%, desvio padrão amostral de 7,4%, v_m 2,85 (mm/us) e módulo de elasticidade dinâmico médio de 12,59 GPa, dados estes sendo os mais elevados dentre todos os corpos-de prova, sendo este valor não aceitável, pois não atenderá às solicitações, o que pode estar relacionado a um alto teor de cimento, conforme Carasek et al. [8];
- Apresenta alta compacidade, com velocidade mais alta dentre todos os corpos-de-prova, não havendo dificuldades na propagação da onda ultrassônica, o sistema ficou muito rígido e pouco deformável;
- O CP 2, mostrou-se com maior compacidade em relação ao CP1, evidenciado pela velocidade, a compacidade está relacionada às condições do estado fresco na matriz da pasta, que terá como consequência as propriedades no estado endurecido, como o volume de vazios, teor de ar incorporado e condições de hidratação da pasta.

Tabela 2. Dados obtidos corpos-de-prova Obra 2

| CP N° | 1 | 2 | Média |
|-----------------------------------|--------|--------|---------|
| L (mm) | 160,03 | 161,99 | |
| ρ_{max} (Kg/m ³) | 1775 | 1672 | 1723,67 |
| t menor (μ s) | 57,20 | 55,80 | |
| V (mm/ μ s) | 2,80 | 2,90 | |
| E _d (GPa) | 12,50 | 12,68 | 12,59 |

Este módulo de elasticidade acarretou fissuração, conforme Figura 2.

Constatou-se que este revestimento não atende aos requisitos de desempenho, devido a fissuração, esta anomalia é prejudicial ao sistema, visto que reduz a vida útil de projeto conforme ABNT NBR 15575-1 [2], compromete o desempenho do sistema e traz ônus financeiro pois o serviço terá que ser corrigido.



Figura 2. Revestimento fissurado (Obra 2).

Analisando a Tabela 3 tem-se:

- Na Tabela 3, com um coeficiente de variação da velocidade de 1,62%, desvio padrão amostral de 3,6%;
- Com velocidade de 2,22 (mm/us), a argamassa não apresentou fissuração, estando com deformabilidade média de 7,46 GPa, não apresentando fissuração, com alta capacidade de absorver solicitações sem deformar, se enquadrando em valores aceitáveis por métodos empíricos, este irá para os requisitos de VUP, conforme ABNT NBR 15575-1 [2].

Tabela 3. Dados obtidos corpos-de-prova Obra 3

| CP N° | 1 | 2 | Média |
|--|--------|--------|---------|
| L (mm) | 167,80 | 167,64 | |
| ρ_{max} (Kg/m ³) | 1646 | 1702 | 1673,58 |
| t menor (μ s) | 76,30 | 74,50 | |
| V (mm/ μ s) | 2,20 | 2,25 | |
| E_d (GPa) | 7,16 | 7,75 | 7,45 |

Analisando a Tabela 4 tem-se:

- Na Tabela 4, com um coeficiente de variação da velocidade de 1,55%, desvio padrão amostral de 4,3%, v_m 2,76 (mm/us) e deformabilidade média de 11,93 GPa, este valor é alto quando comparado ao sugerido por método empírico (7 a 8 GPa), deste modo este revestimento afetará os requisitos de desempenho e VUP, conforme ABNT NBR 15575-1 [2], bem como relacionado ao alto teor de cimento na dosagem, conforme verificado por Bauer e Silva [6];
- A velocidade sendo a segunda mais elevada de todos os corpos-de-prova, mostrando alta rigidez e baixa capacidade de absorver deformações;
- O CP 1, mostrou-se com maior compacidade em relação ao CP2, acarretando manifestação patológica de fissura do tipo geométrica inclinada, conforme Figura 3.



Figura 3. Revestimento fissurado (Obra 4).

Tabela 4. Dados obtidos corpos-de-prova Obra 4

| CP N° | 1 | 2 | Média |
|--|--------|--------|---------|
| L (mm) | 162,03 | 161,80 | |
| ρ_{max} (Kg/m ³) | 1721 | 1751 | 1634,00 |
| t menor (μ s) | 58,00 | 59,20 | |
| V (mm/ μ s) | 2,79 | 2,73 | |
| E_d (GPa) | 12,09 | 11,77 | 11,93 |

Analisando a Tabela 5 tem-se:

- Na Tabela 5, com um coeficiente de variação da velocidade de 1,55%, desvio padrão amostral de 4,1%, módulo de elasticidade dinâmico médio de 10,20 GPa e velocidade média de 2,63 (mm/us), este módulo é alto quando comparado ao que é adotado por método empírico (7 a 8 GPa);
- Recomenda-se que seja verificado o desempenho do sistema a longo de sua vida útil, esta deformação pode não resistir às ações de tensões e movimentações térmicas, levando ao mal desempenho do sistema e reduzindo a vida útil.

Tabela 5. Dados obtidos corpos-de-prova Obra 5

| CP N° | 1 | 2 | Média |
|--|--------|--------|---------|
| L (mm) | 160,20 | 161,08 | |
| ρ_{max} (Kg/m ³) | 1649 | 1618 | 1634,00 |
| t menor (μs) | 61,50 | 60,50 | |
| V (mm/ μs) | 2,60 | 2,66 | |
| E_d (GPa) | 10,07 | 10,33 | 10,20 |

Analisando a Tabela 6 tem-se:

- Na Tabela 6, com um coeficiente de variação da velocidade de 1,14% e desvio padrão amostral de 3,1%, módulo de elasticidade dinâmico médio de 11,43 GPa e velocidade média alta de 2,69 mm/us, quando comparado aos demais corpos-de-prova, este módulo alto pode estar relacionado a um alto teor de cimento conforme constatado por Carasek et al. [8];
- Recomenda-se que seja avaliado o sistema ao decorrer de sua vida útil, este módulo de elasticidade pode não resistir às tensões e movimentações térmicas, levando a um desempenho negativo do sistema e reduzindo a vida útil.

Tabela 6. Dados obtidos corpos-de-prova Obra 6

| CP N° | 1 | 2 | Média |
|--|--------|--------|---------|
| L (mm) | 160,21 | 160,09 | |
| ρ_{max} (Kg/m ³) | 1759 | 1746 | 1752,00 |
| t menor (μs) | 60,00 | 59,00 | |
| V (mm/ μs) | 2,67 | 2,71 | |
| E_d (GPa) | 11,29 | 11,57 | 11,43 |

Analisando a Tabela 7 tem-se:

- Na Tabela 7, com um coeficiente de variação de 0,49%, desvio padrão amostral 1,1%, velocidade média de 2,30 mm/ μs e módulo de elasticidade dinâmico médio de 7,85 GPa, o revestimento se enquadra em valores aceitáveis por métodos empíricos ora mencionados;
- As características no estado endurecido estão adequadas, o revestimento está apto para suportar deformações, influenciando na durabilidade das edificações em atendimento aos requisitos de desempenho da ABNT NBR 15575-1 [2].

Tabela 7. Dados obtidos corpos-de-prova Obra 7

| CP N° | 1 | 2 | Média |
|--|--------|--------|---------|
| L (mm) | 160,03 | 159,61 | |
| ρ_{max} (Kg/m ³) | 1629 | 1654 | 1641,00 |
| t menor (μs) | 69,20 | 69,50 | |
| V (mm/ μs) | 2,31 | 2,30 | |
| E_d (GPa) | 7,84 | 7,85 | 7,85 |

Analisando a Tabela 8 tem-se:

- Na Tabela 8, com um coeficiente de variação da velocidade de 0,33%, desvio padrão amostral 0,61%, mostra que a argamassa está com baixa variabilidade, estes dados foram os menores dentre todos os corpos-de-prova, com velocidade de 1,87 mm/us e módulo de elasticidade dinâmico médio de 4,99 GPa, este módulo é baixo quando comparado aos aceitos pelo método empírico, revelando uma argamassa fraca com teor de cimento baixo ao necessário;
- Sugere-se que seja realizado o acompanhamento a médio prazo e ensaios pertinentes, para verificar se o sistema resistirá às movimentações térmicas e ações de tensões, com o fim de garantir e/ou aumentar a vida útil.

Tabela 8. Dados obtidos corpos-de-prova Obra 8

| CP N° | 1 | 2 | Média |
|--|--------|-------|---------|
| L (mm) | 160,17 | 159,8 | |
| ρ_{max} (Kg/m ³) | 1581 | 1603 | 1592,00 |
| t menor (μ s) | 86,00 | 85,50 | |
| V (mm/ μ s) | 1,86 | 1,87 | |
| E _d (GPa) | 4,94 | 5,05 | 4,99 |

Analisando a Tabela 9 tem-se:

- Na Tabela 9, um coeficiente de variação da velocidade de 0,92% e desvio padrão amostral de 2,4% e com módulo de elasticidade dinâmico médio de 11,92 GPa e velocidade alta de 2,64 (mm/ μ s), este valor de módulo é alto, quando comparado ao que se têm admitido por métodos empíricos;
- Quando comparado aos demais corpos-de-prova, apontando para a redução de vazios na pasta endurecida, alta compactidade e utilização de teor de cimento acima da média, prejudicando o desempenho do sistema e reduzindo a vida útil, acarretando fissurações geométricas inclinadas. conforme Figura 4.



Figura 4. Revestimentos fissurados (Obra 9).

Tabela 9. Dados obtidos corpos-de-prova Obra 9

| CP N° | 1 | 2 | Média |
|--|--------|--------|---------|
| L (mm) | 160,11 | 160,07 | |
| ρ_{max} (Kg/m ³) | 1902 | 1892 | 1897,00 |
| t menor (μ s) | 61,00 | 60,20 | |
| V (mm/ μ s) | 2,62 | 2,66 | |
| E _d (GPa) | 11,80 | 12,04 | 11,92 |

Na Figura 05, verifica-se a correlação entre a velocidade e o módulo de elasticidade dinâmico, com destaque aos que estão concentrados entre 7,16 e 7,84 (GPa), com comportamento linear e $R^2 = 0,9681$ ou 96,81%;

Deste modo, pode ser averiguado que a correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e velocidade, pode ser adotada como meio de avaliação dos sistemas, pois está em harmonia com os resultados apresentados nos revestimentos. Faz-se necessário avaliar em trabalhos futuros o que pode influenciar as características que interferem no módulo de elasticidade, para assim chegar a um $R^2 = 1$.

Em vista disto, o E_d é diretamente proporcional a VPU, com comportamento linear. A VPU aumenta à medida que o E_d sofre um aumento.

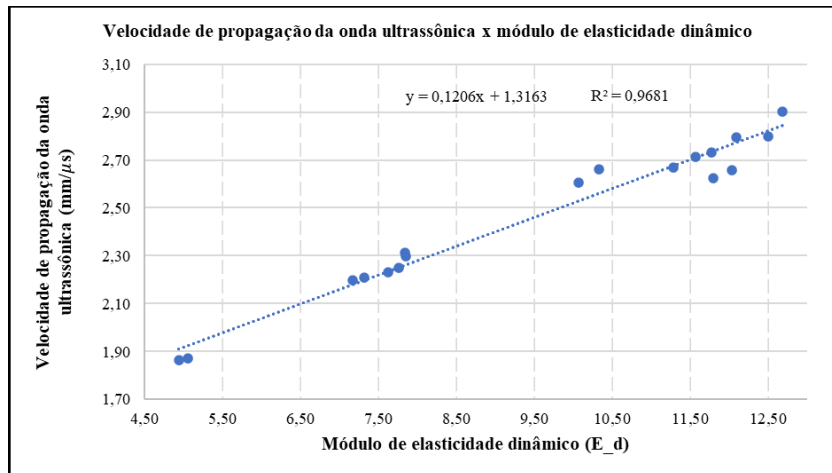


Figura 05. Correlação entre a velocidade de propagação da onda ultrassônica x módulo de elasticidade dinâmico.

Diferentemente do concreto, não existe na literatura brasileira estabelecimento da relação entre a VPU (Velocidade de pulso ultrassônico) e qualidade da argamassa, bem como normalização.

Visto que não há normativa para padronização do módulo de elasticidade dinâmico, empiricamente têm-se adotado o valor deste para revestimentos argamassados entre 7 e 8 GPa, neste trabalho comprovou-se que estes valores atendem aos requisitos de desempenho.

Deste modo, nesta análise, de acordo com os resultados obtidos, com o intuito de parametrizar, obteve-se a seguinte relação, que pode ser analisada na Figura 05.

Tabela 10. Relação VPU e Qualidade da argamassa

| VPU (m/s) | Qualidade da argamassa |
|-----------------|------------------------|
| Inferior a 2000 | RUIM |
| 2100 a 2350 | EXCELENTE |
| 2600 a 700 | REGULAR |
| 2713 a 2733 | GERALMENTE RUIM |
| Superior a 2794 | INADEQUADA |

Argamassas classificadas com “Ruim” são inadequadas para revestimento argamassado, devido a baixa capacidade absorver solicitações, enquanto as classificadas como “Excelente” são as ideais devido a alta capacidade de absorver solicitações, já as classificadas como “Regular” estão mais suscetíveis a não absorver solicitações ao longo da vida útil do revestimento, de um outro lado as que estão classificadas como “Geralmente ruim” fissuram facilmente, não absorvendo tensões, passando rapidamente do estado elástico para o plástico, do mesmo modo as classificadas como “Inadequada” são altamente rígidas e pouco deformáveis. Portanto a velocidade ideal que atende aos requisitos das normas de desempenho são as classificadas como “Excelente”.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho na utilização do ensaio não destrutivo (END) para determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi alcançado, mostrando-se como método eficaz para o diagnóstico das manifestações patológicas, adequado para forma de monitoramento do revestimento argamassado, para atender aos requisitos de desempenho.

Constatou-se que o módulo de elasticidade precisa estar dentro de limites estabelecidos para atender às deformações, visto que quanto menor o módulo de elasticidade dinâmico, maior é a capacidade de absorver deformações e quanto mais elevado o módulo de elasticidade dinâmico, menor é a capacidade de absorver deformações, sendo necessário haver um equilíbrio, para atender aos requisitos.

As correlações realizadas foram de suma importância para avaliação do sistema, os resultados destas traduzidos em: perfeito desempenho (não apresentando manifestações patológicas) e desempenho inadequado (apresentando manifestações patológicas).

Deste modo, nestas configurações recomenda-se um módulo de elasticidade entre 7 e 8 GPa para argamassas: industrializada e estabilizada.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. ABNT, 2021.
- [3] ARAÚJO JR. J. M. *Contribuição Ao Estudo das Propriedades Físico-Mecânicas das Argamassas de Revestimento*. Dissertação de mestrado em estruturas e construção civil - departamento de engenharia civil e ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, 2004.
- [4] BASTOS, Pedro K. X. *Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas de revestimento*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.
- [5] BAUER, L. A. F et al. *Materiais de construção*. 6ª ed. v.1, Rio de Janeiro, LTC. 2019
- [6] BAUER. Elton; SILVA. Francisco Gabriel Santos Silva. *Avaliação da fissuração em argamassas*. VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 19 a 22 de maio de 2009. Curitiba, 2009.
- [7] LUIZ. A. TREVISOL JR; K. F. PORTELLA; M. O. G. P. BRAGANÇA. *Estudo comparativo entre as argamassas: estabilizada dosada em central, industrializada e produzida em obra por meio de ensaios físicos nos estados fresco e endurecido*. XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. Porto Alegre, 28 a 30 de abril de 2015. Porto Alegre, 2015.
- [8] CARASEK. Helena; CASCUDO. Oswaldo.; SACARTEZINI. Luís Maurício. *Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa*. IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 23 a 25 de maio de 2001. Anais. UNB/ENC. Brasília. 2001.
- [9] CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. *Argamassas de revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaio*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim técnico n. 68.
- [10] COIMBRA. Maycke Claudino; BASTOS. Pedro Kopschitz. *Módulo de elasticidade dinâmico de argamassas de revestimento – Estudo para determinação em fachadas pelo ensaio de pulso ultrassônico*. XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 11 a 13 de junho de 2019. Anais. Goiânia, 2019.
- [11] GODOY. Eduardo Henrique; BARROS. Mercia. S.B. *Proposta de Procedimento de Ensaio para a Avaliação do Módulo de Deformação de Argamassas*. IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 17 a 20 de maio de 2011. Belo Horizonte, 2011.
- [12] HALLIDAY. David; RESNICK. Robert; WALKER. Jearl. *Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica*. Vol. 2. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.
- [13] HICKEL. Guilherme Cardoso, et. al. *Ensaio não-destrutivos para argamassas: comparação e avaliação da eficácia para a determinação das propriedades no estado endurecido*. XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. São Paulo, 22 a 24 de agosto de 2017. São Paulo, 2017.

- [14] MELO, D. D. F. et al. *Influência da cura úmida em revestimentos executados em argamassa Estabilizada*. XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 11 a 13 de junho de 2019. Anais. Goiânia, 2019.
- [15] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: PINI, 1994.
- [16] NEVILLE, A.M. *Propriedades do concreto*. 5ª ed. São Paulo. Bookman, 2016.
- [17] SABBATINI, F. H. et al. *Recomendações para execução de revestimentos de argamassas para paredes e tetos*. São Paulo, EPUSP/PCC, 1988
- [18] SELMO, Sílvia Maria de Souza; HELENE. Paulo Roberto do Lago. *Dosagem de argamassas de cimento e cal para revestimento externo de fachada de edifícios*. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1989.
- [19] SILVA, N.G. *Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária*. Dissertação de M. Sc. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2006
- [20] VEIGA. Maria. D. R. D. S. *Comportamento de argamassas de revestimento de paredes – contribuição para o estudo de sua resistência à fendilhação*. Portugal, 1998.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida Útil

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS
ENCONTRADAS NA ÁREA DA GARAGEM DE UMA EDIFICAÇÃO EM CONCRETO
ARMADO LOCALIZADA NA CIDADE DO RECIFE-PE**

VASCONCELOS, Felipe¹

¹IPOG – Instituto de Pós-Graduação e Graduação, Goiânia, GO, Brasil, felipeduan88@hotmail.com, 0000-0003-0869-7570

RESUMO

A prática de construir moradias pelos seres humanos é muito antiga e com o passar do tempo houve um crescimento acelerado das técnicas construtivas, o que começou a ocasionar o surgimento de manifestações patológicas oriundas de diversos fatores (materiais de baixa qualidade, erros de execução etc.). Devido a isso, foi criada a área das Patologias nas Edificações que é voltada para o estudo e análise dessas manifestações. Sendo assim, o presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de analisar as manifestações patológicas encontradas numa edificação residencial localizada na cidade do Recife-PE. Para o desenvolvimento dessa pesquisa foi realizada, inicialmente, uma revisão bibliográfica bem detalhada, seguida pelo detalhamento da metodologia utilizada. O método escolhido foi o estudo de caso, bastante utilizado nas pesquisas relacionadas com patologias atualmente. Para a coleta de dados foi realizada uma inspeção na garagem do edifício através de um levantamento fotográfico das principais patologias encontradas. Após essa coleta, foi realizada a análise dos dados, finalizando com a apresentação das patologias identificadas, bem como suas prováveis causas de ocorrência e possíveis soluções. Concluiu-se que várias patologias podem ser evitadas ou até mesmo descobertas com antecedência caso sejam realizadas mais manutenções preventivas nas edificações, algo pouco realizado atualmente.

Palavras-chave: Patologias; Prevenção; Correção; Concreto Armado.

ABSTRACT

The practice of building houses by human beings is very old and over time there was an accelerated growth of construction techniques, which began to cause the emergence of pathological manifestations arising from various factors (poor quality materials, execution errors etc.). Due to this, the area of Pathologies in Buildings was created, which is focused on the study and analysis of these manifestations. Therefore, the present work was developed with the aim of analyzing the pathological manifestations found in a residential building located in the city of Recife-PE. For the development of this research, initially, a very detailed bibliographic review was carried out, followed by the detailing of the methodology used. The method chosen was the case study, widely used in researches related to pathologies today. For data collection, an inspection was carried out in the building's garage through a photographic survey of the main pathologies found. After this collection, data analysis was performed, ending with the presentation of the identified pathologies, as well as their probable causes of occurrence and possible solutions. It was concluded that several pathologies can be avoided or even discovered in advance if more preventive maintenance is carried out in buildings, something that is currently little accomplished.

Keywords: Pathologies; Prevention; Correction; Reinforced Concrete.

1. INTRODUÇÃO

A prática da construção é uma atividade desenvolvida pelo homem desde o início das civilizações e, devido a isso, os métodos construtivos vem sendo passados e aprimorados de geração em geração. Segundo Ferreira [3], com o passar dos anos, o homem procurou se organizar em grupos com o intuito de conseguir se organizar melhor no espaço que o cercava, o que levou ao início de um período de construção em grande escala. Porém, com a Revolução Industrial, algumas

modificações foram feitas nos processos construtivos e novos materiais foram introduzidos, tais como o ferro fundido, o aço e, por fim, o concreto. O concreto armado só veio a ser utilizado de fato no Brasil no início do século XX, sendo intensificado o seu uso a partir da década de 50.

Com o desenvolvimento em ritmo acelerado da construção civil, a fim de atender uma procura elevada por edificações que fossem laborais, industriais ou habitacionais, houve um grande salto científico e tecnológico no que diz respeito ao uso do concreto armado, muito impulsionado também pela própria modernização da sociedade (AMBRÓSIO [1]).

Dessa forma, devido a esse salto repentino nas técnicas construtivas, muitas estruturas acabam desenvolvendo patologias causadas pelo mau uso de materiais na época da sua construção, vícios construtivos oriundos de antigamente, erros de projeto, falhas humanas involuntárias e, na maioria das vezes, envelhecimento natural da edificação devido as ações do ambiente.

Sendo assim, mostrou-se necessária a criação de uma área na Engenharia voltada para o estudo dessas manifestações patológicas, surgindo assim o ramo das Patologias das Estruturas. Segundo Arivabene [2], esse campo “se ocupa do estudo das origens, formas de manifestações, consequências e mecanismos de ocorrência de falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.”

Nesse contexto, percebe-se a importância do estudo e correção das manifestações patológicas presentes em qualquer tipo de edificação atualmente. Essas patologias interferem diretamente na vida útil da edificação, afetando desde áreas mais simples de serem corrigidas, como os revestimentos, até áreas mais complicadas e de vital importância para a sustentação da edificação, como as estruturas de concreto armado.

Partindo dessas informações, esse trabalho busca analisar as principais causas e tipos de manifestações patológicas encontradas nas edificações atualmente, em especial no objeto de estudo em questão, além de propor soluções para os problemas patológicos encontrados no estudo de caso, baseando-se nas informações encontradas na bibliografia adotada e nos conhecimentos adquiridos na vida acadêmica e profissional do autor deste estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Patologias no concreto

Segundo Isaia [4], o termo patologia é utilizado na Engenharia Civil quando se verifica perda ou declínio de desempenho de componentes da estrutura de uma edificação.

Dessa forma, as manifestações patológicas devem ser avaliadas tomando como base suas origens, causas, formas com as quais se manifestam e possíveis meios de prevenção e recuperação. Após análise, caso seja identificado qualquer comprometimento das características da construção, seja ela mecânica, funcional, ou até mesmo estética, essa anomalia deve ser considerada uma manifestação patológica e deve ser tratada o mais rápido possível (FERREIRA [3]).

O primeiro passo para identificar a causa de uma manifestação patológica é descobrir quais os agentes que estão causando a deficiência encontrada na edificação. Segundo Isaia [4] algumas causas que podem contribuir para a ocorrência das manifestações patológicas são: as solicitações mecânicas, as características dos materiais constituintes do concreto, as condições de exposição da edificação, a espessura do cobrimento, entre outros.

Segundo Arivabene [2] vários estudos comprovam que um alto percentual dos problemas patológicos são originados nas fases de planejamento e projeto das edificações. Esses tipos de falhas são bastante críticos para as construções e são considerados até mais graves do que as falhas relacionadas aos métodos construtivos e a qualidade dos materiais. Isso ocorre devido ao pouco investimento em projetos mais detalhados, tanto por parte do poder público quanto do privado, o que acaba levando a ajustes de última hora durante a execução dos projetos e conseqüentemente, a patologias mais graves no futuro, podendo ser elas tanto de caráter funcional como estrutural.

Ainda segundo Arivabene [2], assumindo que as etapas de concepção de um projeto tenham sido respeitadas corretamente e executadas com uma qualidade adequada, mesmo assim as estruturas de concreto podem ainda vir a sofrer com manifestações patológicas ocasionadas pela má utilização da edificação ou pela falta de um programa de manutenção adequado. Muitos dos problemas patológicos ligados a ausência de manutenção preventiva ou até mesmo manutenção inadequada do empreendimento, tem sua origem ligada a problemas econômicos (como falta de investimento adequado para eventuais manutenções) e desconhecimento técnico por parte do usuário.

A falta de manutenção por parte dos usuários após a entrega da edificação também é fator fundamental para o surgimento de patologias nas construções, uma vez que após o recebimento do imóvel o usuário torna-se responsável pelo cuidado e

utilização correta da edificação, além de ser responsável por realizar manutenções periódicas em todo o empreendimento.

Sendo assim, a análise dessas patologias é fundamental para identificar a origem e os agentes causadores de tais manifestações, assim como as consequências que essas patologias trazem para a edificação em si. Dessa forma, na tabela 1 a seguir, Machado *apud* Arivabene [2] relata as principais manifestações patológicas, em ordem crescente de ocorrência estatística:

Tabela 1 – Ocorrência das manifestações patológicas [2]

| Manifestações Patológicas | Ocorrência (Percentual) |
|--|--------------------------------|
| Deterioração e degradação química da construção | 7% |
| Deformações (flechas e rotações) excessivas | 10% |
| Segregação dos materiais componentes do concreto | 20% |
| Corrosão das armaduras do concreto armado | 20% |
| Fissuras e trincas ativas ou passivas nas peças de concreto armado | 21% |
| Manchas na superfície do concreto armado | 22% |

i. Fissuras, Trincas e Rachaduras

Segundo Vitório [10], as fissuras são descontinuidades que ocorrem no concreto devido à sua baixa resistência a tração. Esse tipo de patologia é bem comum nas edificações e dependendo do seu grau de abertura pode interferir na estética, na durabilidade e até mesmo nas características da estrutura do empreendimento.

De acordo com Souza e Murta [9] faz-se necessário definir com exatidão a classificação da fissura em relação a sua origem, suas dimensões e, acima de tudo, sua gravidade para a estrutura. A partir dessa definição pode-se identificar o tratamento mais adequado para a situação, bem como definir as técnicas e materiais que devem ser utilizados para esse reparo.

Segundo Lottermann [5], as trincas são aberturas mais acentuadas e de maior profundidade no concreto. O fator principal para se diferenciar uma trinca de uma fissura é a “separação entre as partes”, ou seja, o material em que ocorre uma trinca está dividido em dois.

Por serem muito parecidas entre si, as trincas e as fissuras são muito difíceis de se distinguirem, exigindo assim equipamentos e profissionais especializados para realizar esse processo de diferenciação. Além disso, as trincas são consideradas mais perigosas do que as fissuras por ocasionarem ruptura do elemento, o que pode afetar a segurança da estrutura da edificação.

Ainda segundo Lottermann [5], as rachaduras possuem as mesmas características das trincas em relação a separar o material em duas partes, contudo as rachaduras são consideradas patologias mais graves por serem aberturas maiores, mais profundas e mais acentuadas quando relacionadas com as trincas. Elas são facilmente identificáveis nas edificações devido à grande amplitude deixada por suas aberturas no elemento afetado.

Uma abertura para ser considerada uma rachadura deve possuir uma amplitude da ordem de 5,0 mm, além de possibilitar a passagem de água, vento e até luz através dos ambientes. Elas requerem imediata atenção e devem ser fechadas o mais rápido possível após a sua identificação. Contudo, antes de se realizar o fechamento das rachaduras é necessário identificar o motivo pelo qual ocorreu a rachadura inicialmente, com o intuito de reparar o problema original e evitar que a patologia volte a aparecer no futuro.



Figura 1 – Comparativo entre fissuras, trincas e rachaduras [8]

ii. Infiltrações, Manchas, Eflorescência e Bolor ou Mofo

Segundo Miotto [7], as principais manifestações patológicas encontradas nas edificações são: infiltrações, manchas, eflorescência e bolor ou mofo. A definição dessas patologias, em especial, será fundamental para a realização do estudo de caso que será apresentado posteriormente.

De acordo com Arivabene [2] podemos definir infiltração como sendo “o resultado de um processo em que a quantidade de água em contato com um substrato é tão grande que a mesma flui ou até mesmo goteja através desse substrato”. Baseado nisso podemos definir uma mancha como sendo a água que fica aderida a esse substrato.

Já eflorescência é definido por Shirakawa *apud* Lottermann [5] como sendo “formações salinas nas superfícies das paredes, trazidas do seu interior pela umidade”. Essas formações salinas apresentam-se sob a superfície da pintura ou do reboco com aspecto esbranquiçado e podem ser causadas por inúmeros fatores, sendo alguns deles o alto teor de sais solúveis e/ou excesso de água nos materiais, como também devido a impurezas presentes na areia utilizada para o preparo do concreto utilizado na edificação.

Por fim, bolor ou mofo é definido por Arivabene [2] como sendo “a colonização por diversas populações de fungos filamentosos sobre os vários tipos de substratos, os quais formam manchas escuras indesejáveis em tonalidades preta, marrom e verde”. A principal diferença entre bolor e mofo é que o mofo é extremamente prejudicial a estrutura da edificação e caso não seja tratada pode corroer completamente a superfície dos materiais.



Figura 2 – Eflorescência em parede de alvenaria [6]

iii. Corrosão de Armaduras

Segundo Ferreira [3], “a corrosão, de um modo geral, é a interação de maneira destrutiva entre um certo material com o meio em que ele se encontra, ocorrendo reação eletroquímica ou química”. Vale ressaltar que esse fenômeno ainda pode ser acelerado devido a presença de agentes químicos externos ou internos ao concreto.

Dessa forma, podemos dizer que a corrosão das armaduras que acontece nas estruturas de concreto é um processo de degeneração da parte metálica, o que implica na progressiva perda da seção das barras de aço da armadura. Esse processo ocorre como consequência da despassivação da armadura, que acontece por dois motivos: presença de cloretos no concreto ou diminuição da alcalinidade do concreto causada pela carbonatação (FERREIRA [3]).

Segundo Miotto [7], as anomalias causadas no concreto pela corrosão das armaduras normalmente são manifestadas por fissuras no concreto paralelas à direção da armadura, o que acaba delimitando ou até mesmo desprendendo o revestimento.

Contudo, é importante salientar que nem sempre quando as armaduras são corroídas ocorre o aparecimento de fissuras. Em alguns casos podem aparecer manchas vermelhas produzidas por óxidos de ferro na superfície do concreto. Quando isso ocorre, as estruturas são principalmente afetadas pela perda de seção das armaduras e também pelo comprometimento da aderência entre aço e concreto (FERREIRA [3]).

3. METODOLOGIA

Foi adotada para o desenvolvimento dessa pesquisa o estudo de caso, um dos métodos de pesquisa mais utilizados para o estudo das patologias em edificações. Sendo assim, a pesquisa foi planejada para ser executada através de uma sequência lógica de ações que está descrita a seguir (Figura 3):

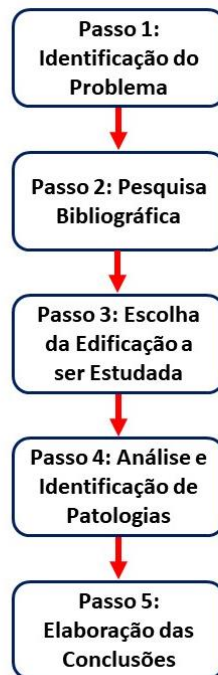


Figura 3 – Fluxograma dos passos de desenvolvimento da pesquisa

- Primeiro passo: Identificação do problema a ser analisado, no caso deste estudo, as manifestações patológicas que ocorrem nas edificações residenciais;
- Segundo passo: Pesquisa bibliográfica sobre o problema em questão para embasamento das ideias e correta identificação e análise das patologias encontradas na área de estudo;
- Terceiro passo: Escolha da edificação a ser estudada e registro fotográfico das principais manifestações patológicas encontradas no local;
- Quarto passo: Análise e identificação das patologias encontradas na área de estudo e determinação das possíveis causas para ocorrência dessas anomalias.
- Quinto passo: Elaboração das conclusões sobre os estudos realizados a partir de todas as informações coletadas.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Descrição da Edificação

O Edifício, objeto de estudo desta pesquisa, está localizado na Rua Ricardo Hardman, no bairro das Graças, um dos bairros mais nobres da cidade do Recife-PE, e é apresentado na Figura 4.



Figura 4 – Vista frontal da edificação em estudo

Ele é constituído por uma torre com 12 pavimentos, sendo 10 pavimentos compostos por apartamentos (2 por andar), um pilotis e um pavimento semienterrado de garagem. No total, a edificação possui 20 apartamentos residenciais, onde cada apartamento possui 123 m² de área privativa.

A edificação possui mais de 50 anos e quase não houve manutenções preventivas durante todo esse tempo. Devido a isso, a edificação vem sofrendo com várias patologias em praticamente todos os pavimentos. Segundo relatos de moradores, uma empresa foi contratada para fazer um laudo técnico especializado de toda a edificação e os reparos estruturais necessários já foram iniciados em algumas partes da área do pilotis.

Para este estudo será analisado apenas o pavimento da garagem. Este pavimento é semienterrado e sua escolha foi feita devido as más condições que a área se encontra atualmente. A seguir são apresentadas as patologias encontradas no pavimento em estudo. Na figura 5 é apresentada a planta da garagem, bem como a localização das patologias no pavimento.

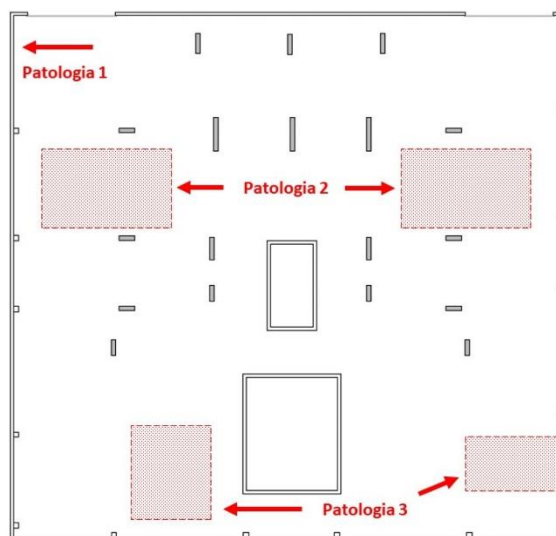


Figura 5 – Planta da garagem e localização das patologias

4.2 Descrição das Patologias Encontradas

i. Formação de Bolor na Parede do Pavimento Garagem

- Descrição visual: A figura apresenta a parede próxima ao portão de saída e entrada de carros do pavimento garagem repleta de manchas, sendo algumas delas já com tom bem esverdeado.

- Manifestação: Algumas áreas, quando muito próximas a elementos hidráulicos ou até mesmo devido à falta de luz solar, podem acabar sofrendo com a presença de fungos que acabam por danificar esteticamente esse local.

- Causas prováveis: Observa-se pela figura que as principais causas para essa manifestação patológica são a presença de bastante umidade no ambiente e também a ausência de luz solar nessa área, uma vez que a alvenaria se encontra mais recuada em relação aos pilares e vigas. Também pode ter ocorrido um problema de impermeabilização na área, provavelmente por falta de manutenção por parte dos usuários da edificação ou falha de execução da empresa responsável.

- Mecanismo de ocorrência: Devido à falta de luz solar, a grande umidade e a falta de manutenção apropriada no local houve uma grande proliferação de fungos que tende a aumentar com o passar do tempo caso não seja feita uma manutenção corretiva apropriada.

- Soluções: Para se tratar esse tipo de patologia deve-se, primeiramente, tratar a causa dessa manifestação estar ocorrendo. Sendo assim, deve-se raspar e limpar toda a área afetada pelo bolor, para logo na sequência fazer uma correta impermeabilização desse local para diminuir os efeitos da umidade. Após isso deve-se repintar a área com tinta com ação fungicida para evitar o aparecimento de novos fungos



Figura 6 – Formação de bolor na parede do pavimento garagem

ii. Infiltrações no Teto do Pavimento Garagem com Formações de Estalactite

- Descrição visual: A figura apresenta o teto do pavimento da garagem com manchas meio esverdeadas e o surgimento de estalactites na cor branca na parte mais escura dessas manchas.

- Manifestação: O surgimento de estalactites demonstra a presença do processo de lixiviação que ocorre nessa laje, onde a água penetra nos poros e é transportada junto com os sais até a superfície externa do concreto.

- Causas prováveis: Observa-se pela figura que a principal causa para essa manifestação patológica é alguma infiltração que está ocorrendo na laje que separa o pavimento do pilotis e o pavimento da garagem. Percebe-se que essa infiltração já está ocorrendo há algum tempo devido a coloração do teto que já está bem esverdeada e também, devido a formação

das várias estalactites espalhadas pelas manchas das infiltrações.

- **Mecanismo de ocorrência:** Como há infiltrações nessa laje acabou ocorrendo o processo de lixiviação nesse concreto. Com o passar do tempo a água foi infiltrando cada vez mais e foi arrastando consigo o hidróxido de cálcio presente no concreto, dessa forma acabou-se originando manchas e estalactites nessa laje.

- **Soluções:** Para se tratar esse tipo de patologia deve-se, primeiramente, fazer um estudo do nível de gravidade que essa patologia causou na estrutura. Após essa análise, caso seja algo simples, deve-se limpar toda a parte afetada pelas infiltrações e raspar toda a parte contaminada pelo carbonato de cálcio. Porém, caso a situação seja mais grave, deve-se realizar um reforço estrutural nessa laje para evitar corrosão da armadura e possível colapso futuramente.



Figura 7 – Infiltrações no teto do pavimento garagem com formações de estalactite

iii. Infiltração e Exposição de Armadura no Teto do Pavimento da Garagem

- **Descrição visual:** A figura apresenta o teto do pavimento da garagem e uma tubulação de esgoto, onde um joelho de 90° e aproximadamente 100 mm de diâmetro está servindo como ralo para captar as águas provenientes do pavimento superior (pilotis).

- **Manifestação:** Tubulações hidráulicas conectadas a estruturas de concreto armado devem ser muito bem impermeabilizadas para que não haja vazamentos que possam afetar e danificar a vida útil e a durabilidade dos elementos estruturais que estão ao seu redor.

- **Causas prováveis:** Observa-se pela figura que a principal causa para essa manifestação patológica é a má impermeabilização do ralo no pilotis, uma vez que toda a parte ao redor da tubulação está sofrendo infiltração.

- **Mecanismo de ocorrência:** Devido à ausência de uma correta impermeabilização, a água que vem do pilotis infiltra na laje e acaba deixando o teto da garagem repleto de manchas amarronzadas. Percebe-se também que devido as infiltrações está ocorrendo queda do revestimento do teto, o que está levando a exposição da armadura e sua consequente corrosão.

- **Soluções:** Para se tratar esse tipo de patologia deve-se, primeiramente, realizar uma correta impermeabilização do ralo do pavimento do pilotis para evitar novas infiltrações. Em seguida deve-se tratar a corrosão da armadura que está exposta raspando a parte enferrujada e aplicando um produto inibidor de corrosão para evitar novas corrosões. Por fim, realiza-se a recuperação da área infiltrada raspando e realizando nova aplicação de pintura e reboco



Figura 8 – Infiltração e exposição de armadura no teto do pavimento garagem

5. CONCLUSÃO

A partir do desenvolvimento dessa pesquisa foi possível concluir que o edifício em estudo apresentava vários tipos de manifestações patológicas, sendo elas desde patologias mais simples até patologias que exigem um maior cuidado. Entre os tipos de manifestações patológicas encontradas destacam-se as infiltrações que estão ocorrendo em diversos pontos da laje que separa a garagem do pilotis e estão causando pontos de estalactites, e também a exposição e conseqüente corrosão das armaduras da laje, patologia mais grave e que está ocorrendo em outros locais além dos apresentados nesse estudo.

Vale salientar que a partir de uma análise a olho nu pode-se afirmar que as patologias encontradas estão em níveis considerados graves e necessitam de reparos imediatos para que não venham a causar impactos mais sérios a estrutura da edificação. Contudo, para se determinar mais precisamente o nível de gravidade das patologias e como elas estão afetando a integridade da estrutura serão necessárias análises mais detalhadas não só das estruturas da garagem, mas também de toda a edificação.

Outro ponto importante que vale destacar é que a maioria das manifestações patológicas encontradas neste estudo, bem como várias outras presentes em diversas edificações, podem ser evitadas caso sejam feitas manutenções periódicas preventivas nas edificações, algo pouco realizado no prédio em estudo. Além de prevenir, as manutenções periódicas são também de extrema importância para identificar possíveis patologias nas edificações em seus estágios iniciais, o que facilita no seu tratamento, causando poucos ou quase nenhum estrago a estrutura.

Por fim, espera-se que esse trabalho possa contribuir para o estudo e desenvolvimento de novas técnicas de identificação, correção e tratamento das manifestações patológicas mencionadas nessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] AMBRÓSIO, Thais da Silva. **Patologia, Tratamento e Reforço de Estruturas de Concreto no Metrô de São Paulo**. 128 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, SP, 2004.
- [2] ARIVABENE, Antonio Cesar. **Patologias em Estruturas de Concreto Armado: Estudo de Caso**. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Instituto de Pós-Graduação – IPOG, Vitória, ES, 2015.

- [3] FERREIRA, Juliana Rodrigues. **Inspeção de uma Edificação em Concreto Armado Localizada na Região Central de Recife-PE, Estudo de Caso.** 39 f. Monografia (Especialização) – Universidade de Pernambuco, Recife, PE, 2013.
- [4] ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, vol. 2.** São Paulo: IBRACON, 2005.
- [5] LOTTERMANN, André Fonseca. **Patologias em Estruturas de Concreto Armado: Estudo de Caso.** 66 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2013.
- [6] MAPA DA OBRA. **Problemas Causados pela Lixiviação do Concreto.** 2017. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/os-problemas-causados-pela-lixiviacao-do-concreto/?doing_wp_cron=1637196829.8921339511871337890625>. Acesso em: 18 de maio de 2022.
- [7] MIOTTO, Daniela. **Estudo de Caso de Patologias Observadas em Edificação Escolar Estadual no Município de Pato Branco – PR.** 63 f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Paraná – UFPR, Pato Branco, PR, 2010.
- [8] NEVES, Antonio. **Saiba Tudo Sobre Fissuras e Trincas em Reboco.** Blok Impermeabilizantes, 2019. Disponível em: <<https://www.blok.com.br/blog/fissuras-e-trincas-em-reboco>>. Acesso em: 20 de maio de 2022.
- [9] SOUZA, Marilsa Inês; MURTA, Mirna Moreira. **Patologias, Recuperação e Reforço Rstrutural em Concreto Armado.** 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, Caratinga, MG, 2012.
- [10] VITÓRIO, Afonso. **Fundamentos da Patologia das Estruturas nas Perícias de Engenharia.** Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícias de Engenharia. Recife, PE, 2003.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e vida útil

DETECÇÃO DE CORROSÃO EM ARMADURAS PELO MÉTODO DA DIFERENÇA DE POTENCIAL

SOARES, Francisco Thiago¹; TEMOTEO, Guilherme¹; TORRES, Natalia¹

¹ Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos, Gama-DF, Brasil, guilherme.temoteo.4@gmail.com, 0000-0001-7097-7579

RESUMO

A corrosão é responsável por prejuízos de magnitude considerável em diversos países. Vários setores da economia têm algum custo relacionado com o problema citado, seja esse custo direto, como por exemplo com a troca de peças ou indireto, como o fechamento de pontes ou interrupção de serviços para reparos em estruturas corroídas. Estudos feitos pela CC Technologies Laboratories Inc. com suporte da US Federal Highway Administration e da MACE International no ano de 1982 levantaram que o custo direto da corrosão nos EUA foi de 276 bilhões de dólares (3,1% do PIB) e o custo indireto ficou cerca de 552 bilhões de dólares (6,2% do PIB). O objetivo do trabalho foi a confecção e calibração de um equipamento detector de corrosão pelo método da diferença de potencial, descrito na norma americana ASTM C876-15, para realização de seis estudos de caso em estruturas de concreto armado na cidade do Gama-DF, demonstrando resultados qualitativos obtidos pelo equipamento. Os resultados dos estudos de caso mostram que a técnica é eficiente para detecção de corrosão.

Palavras-chave: Corrosão; ASTM C876-15; Potencial de corrosão; Diferença de potencial.

ABSTRACT

Corrosion is responsible for losses of considerable magnitude in several countries. Many sectors of the economy have some cost related to the aforementioned problem, whether this cost is direct, for example, with the replacement of parts, or indirect, such as closing bridges or interruption of services for repairs in corroded structures. Studies carried out by CC Technologies Laboratories Inc. with support from the US Federal Highway Administration and MACE International in 1982, estimate that the direct cost of corrosion in the US was 276 billion dollars (3.1% of GDP) and the indirect cost was about 552 billion dollars (6.2% of GDP). The objective of this work was the manufacture and calibration of a corrosion detector equipment by the potential difference method, described in the American standard ASTM C876-15, to carry out six case studies in reinforced concrete structures in the city of Gama-DF, demonstrating qualitative results obtained by the equipment. The results of the case studies show that the technique is efficient for corrosion detection.

Keywords: Corrosion; ASTM C876-15; Corrosion potential; Potential difference.

1. INTRODUÇÃO

A corrosão, de acordo com Gentil [1], é definida como as reações físico-químicas entre um ambiente e um metal e que geram a deterioração deste. Esse fenômeno pode modificar negativamente as propriedades do metal em questão tornando-o parcial ou totalmente inútil para sua função primária.

O processo de corrosão é tido a partir da transformação de moléculas presentes em determinada mistura, podendo ocorrer de duas formas: oxidação, quando há perda de elétrons, e a oxirredução onde o material perde área de sua seção através do aumento no número de elétrons. Estes fenômenos de ganho ou perda de elétrons são ocasionados por fatores químicos ou eletroquímicos de reações com o meio ambiente [2].

A corrosão nas estruturas de concreto armado ocorre apenas quando a estrutura é exposta a dióxido de carbono (CO₂) ou cloretos que penetram no concreto e atingem a armadura. O aço dentro do concreto em si não é passível de corrosão, pois os elementos presentes no concreto coíbem esse fenômeno e impedem a passagem desses contaminantes que fazem com que se inicie esse o processo, que afeta diretamente na segurança e na durabilidade da estrutura [1].

Então, a deterioração e a corrosão no concreto armado provavelmente estarão sendo causadas por razões mecânicas, biológicas, químicas ou então físicas como por exemplo vibrações ou transições de temperaturas, que podem resultar em microfissuras que abrem caminhos para os agentes agressivos [1].

1.1. Justificativa

A corrosão é responsável por prejuízos de magnitude considerável em diversos países. Vários setores da economia têm algum custo relacionado com o problema em questão, seja esse custo direto como por exemplo com a troca de peças ou indireto como o fechamento de pontes ou interrupção de serviços para reparos em estruturas corroídas [1].

Os relatórios e levantamentos sobre patologias em estruturas de concreto desenvolvidos pelos estadunidenses costumam ser precisos e fidedignos. No ano de 1965 o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (National Bureau of Standards) dos Estados Unidos afirmou que, segundo estudos, a estimativa do custo anual com corrosão naquele país era de cerca de 10 bilhões de dólares [1], [3].

O Departamento do comércio dos EUA estimou que no ano de 1982 o custo anual da corrosão foi de 126 bilhões de dólares. Já em estudo mais recente realizado pela CC Technologies Laboratories Inc. com suporte da US Federal Highway Administration e da MACE International revelou que o custo direto com a corrosão nos EUA naquele período foi de 276 bilhões de dólares (3,1% do PIB) e o custo indireto ficou por volta de 552 bilhões de dólares (6,2% do PIB) [1].

Um estudo minucioso realizado pelo governo do Reino Unido publicou em seu relatório final, no ano de 1971, os custos mínimos da corrosão naquele ano no país. O estudo revelou que esse custo mínimo foi de 1,365 bilhões de libras esterlinas, valor esse equivalente a 3,5% do PIB [1].

O Grupo Español del Hormigón em 1992 apresentou seu estudo feito em 52 províncias da Espanha e afirmou que a corrosão de armaduras é a 3^a patologia de maior ocorrência nas estruturas de concreto armado. Segundo o levantamento, 15% de 844 eventos patológicos estavam relacionados a corrosão de armaduras [3].

Os estudos desenvolvidos no Brasil acerca deste tipo de levantamento não são tão numerosos. Segundo Molin, Coitinho [4], no Rio Grande do Sul a ocorrência da corrosão de armaduras em edifícios representa 11% dos problemas patológicos.

Em 1988 na cidade de São Paulo, a principal adutora da Sabesp caiu devido a problemas de corrosão e deixou cerca de 3 milhões de habitantes sem água potável durante 15 dias [3].

Visto que os valores gastos com a corrosão estão relacionados diretamente com o desenvolvimento de um país faz-se necessário o desenvolvimento de novos métodos de prevenção e identificação de corrosão, e paralelamente, a aplicação dos métodos já existentes para correção do problema.

1.2 Revisão bibliográfica

i. Causas da corrosão

O estado natural em que se encontram os metais são em sua forma oxidada. Através da adição de energia nos diversos processos de conformação do aço obtém-se a forma pura do ferro misturada ao carbono. Assim, o processo de corrosão pode ser resumido como o metal na sua forma pura dissipando energia e voltando à sua forma natural [2].

Metais como o alumínio e a prata, quando sofrem o processo de oxidação, criam uma espécie de película oxidada envolta do material não oxidado. Essa camada protege o restante do material contra a corrosão. Já o ferro apresenta um processo diferente onde a ferrugem da camada exterior se desprende do restante do material e abre caminho para que os agentes corrosivos deem continuidade ao processo corrosivo até que a peça inteira sofra corrosão [2].

O processo corrosivo pode ocorrer tanto entre metais diferentes quanto entre iguais e a causa desse processo pode se dar de diversas formas. Quando os metais ou ligas são diferentes forma-se uma pilha galvânica envolvendo-os. Nesta pilha quando os metais possuem potenciais diferentes e há um meio entre os dois, chamado de eletrólito, ocorre a migração natural dos elétrons do metal de menor potencial para o de maior potencial. Esses eventos chamam-se respectivamente de oxidação e redução [3].

De acordo com algumas literaturas, os fatores principais que causam a corrosão de armaduras são quando estas entram em contato com meio aquoso, quando ocorre a carbonatação e também quando ocorre a ação dos cloretos [5], [6].

ii. Potencial de corrosão como método de detecção de corrosão em armaduras

O potencial eletroquímico é o que se utiliza para medir as chances de um metal reagir com o ambiente que o circunda. Trazendo isso para a realidade do concreto armado, pode-se dizer que o aço reage com o concreto, que é justamente o eletrólito que o circunda. Dessa forma, medir esses diferentes potenciais eletroquímicos é vantajoso para a avaliação do potencial de corrosão nas estruturas de concreto armado [3].

A técnica de potencial de corrosão consiste em medir mudanças no potencial eletroquímico nas armaduras do concreto armado. Ela indica o equilíbrio entre reações anódicas e catódicas, mas não informa dados quantitativos sobre a velocidade da corrosão ou a perda de seção da barra [5].

Uma pilha eletroquímica deve ser feita para que se possa medir o potencial de corrosão. Para fazer isso é necessário: dois eletrodos (ânodo e cátodo); um eletrólito; e um circuito metálico que interligue os eletrodos [3].

A norma ASTM C-876 apresenta como parâmetros para aferição da corrosão a relação dos intervalos de potenciais medidos por um eletrodo de cobre – sulfato de cobre (Cu/CuSO_4 , Cu^{2+}) e a chance de ocorrência da mesma conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Probabilidade de ocorrência de corrosão da armadura em função do potencial. [3]

| Tipo de eletrodo | Probabilidade de ocorrer a corrosão | | |
|------------------|---|-------------------|-----------|
| | Cu/CuSO_4 , Cu^{2+} (ASTM C 876) | <10% | 10% a 90% |
| | > -200 mV | -200 mV a -350 mV | < -350 mV |

1.3 Objetivos

i. Objetivos gerais

Realizar a montagem de equipamento para detecção de corrosão em estruturas de concreto armado pelo método da diferença de potencial utilizando a técnica do potencial de meia célula descrita na norma americana ASTM C876-15.

ii. Objetivos específicos

- Realizar a construção do equipamento detector de corrosão;
- Calibrar o equipamento em vigotas de concreto armado nas seguintes condições: vigota de concreto em perfeitas condições com armadura corroída superficialmente e armadura não corroída e vigota de concreto atacada quimicamente e com armadura corroída;
- Realizar estudos de casos para identificação de corrosão em estruturas de concreto armado.

2. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O fluxograma do procedimento metodológico mostrado na Figura 1 foi feito com o propósito de clarear os passos executados ao longo do tempo para conclusão exitosa do presente trabalho.

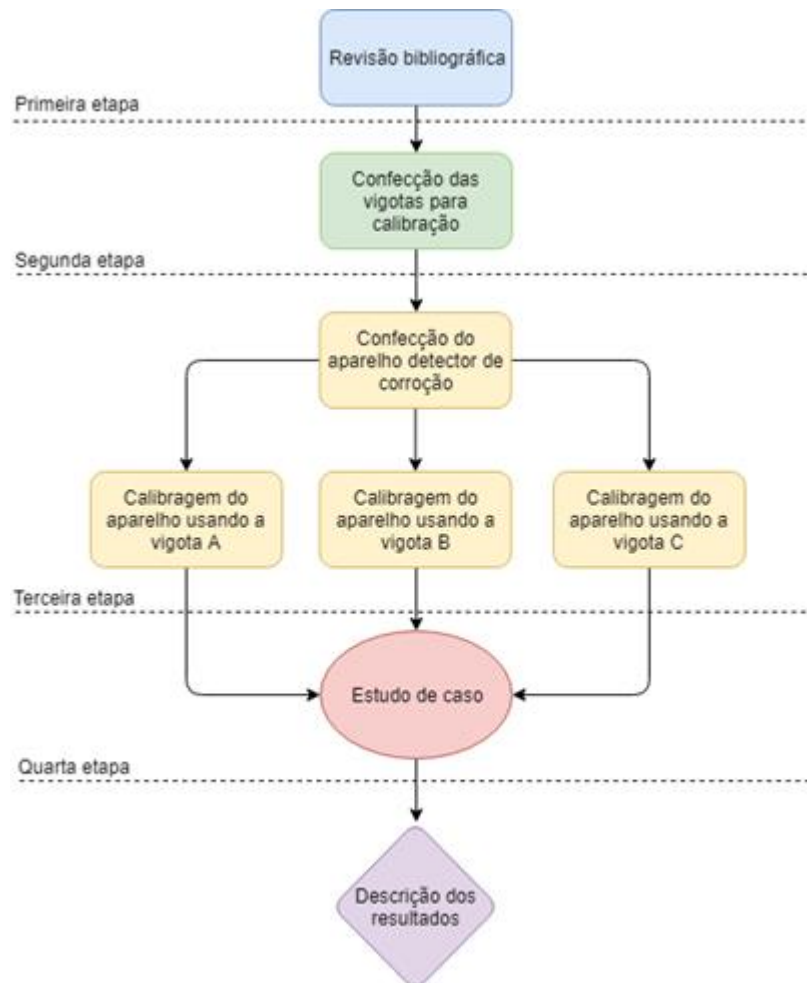


Figura 1 – Fluxograma de atividades.

2.1 Confeção das vigotas para calibração do aparelho

Para calibração do aparelho, foram confeccionadas 3 vigotas com dimensões 12,5cm x 12,5cm x 30cm (aproximadamente 4.687,5cm³), utilizando duas barras de aço de diâmetro de 8,0mm e comprimento de 40cm para simular uma armadura. O cobrimento nominal foi de 25mm, o que corresponde a classe de agressividade I descrita pela Associação Brasileira de Normas Técnicas [7].

As vigotas destinadas à calibração do aparelho detector de corrosão podem ser vistas na Figura 2 e apresentam as seguintes características:

- Vigota A: concreto em perfeito estado e barra de aço em perfeito estado de conservação;
- Vigota B: concreto em perfeito estado e barra de aço com corrosão;
- Vigota C: concreto atacado quimicamente e barra de aço com corrosão.



Figura 2 – Vigotas para calibração do aparelho detector de corrosão

O traço em massa usado para fazer o concreto das vigotas foi 1: 1,5: 2,9 com cimento CII. Buscou-se fazer um concreto com uma maior porosidade para que as vigotas pudessem sofrer o ataque químico de forma mais rápida a fim de induzir a corrosão por carbonatação de forma acelerada para a calibração do aparelho. Para realizar isso, tomou-se como base o que foi dito por Campiteli [8] — um fator água cimento mais elevado, causa uma série de vazios entre a pasta e os agregados ou a armadura e conseqüentemente aumenta a porosidade.

2.2 Confeção do aparelho detector de corrosão

A lista de materiais utilizados para a construção do aparelho foi:

1. Furadeira;
2. Serra-copo;
3. Broca fina;
4. Madeira porosa;
5. Garrafa PET de 600 ml;
6. Fios de cobre;
7. Esponja;
8. Cristais de Sulfato de Cobre;
9. Água destilada;
10. Multímetro digital.

O valor gasto para confeccionar o aparelho foi de aproximadamente R\$170,00. Primeiramente foi montado o eletrodo de referência mostrado na Figura 3. O plugue poroso que pode ser observado na Figura 4, foi confeccionado a partir de um furo em uma tábua de madeira porosa utilizando-se uma serra-copo. Para garantir uma melhor permeabilidade da solução de sulfato de cobre (CuSO_4) e água destilada pelo plugue de madeira, foram feitos furos utilizando uma broca com diâmetro de 4mm que não trespassassem toda a peça.

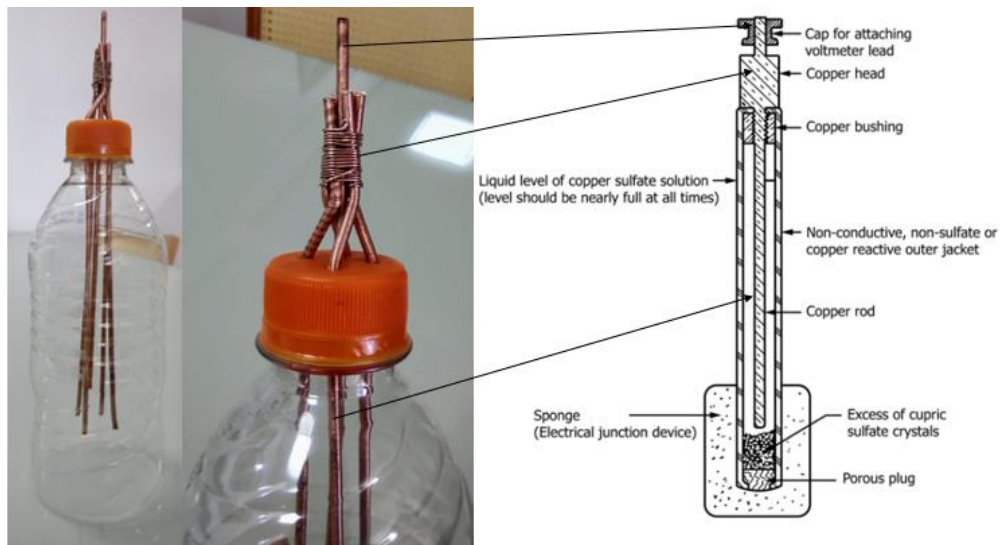


Figura 3 – Eletrodo de referência

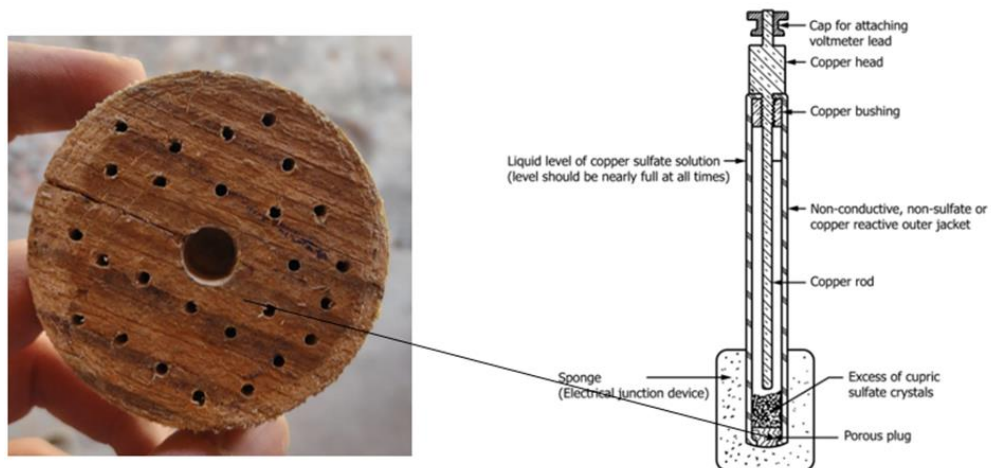


Figura 4 – Plugue poroso.

O aparelho detector mostrado na Figura 5 foi confeccionado utilizando-se: uma garrafa de PET de 600 ml; um pedaço de madeira cortada em formato circular, no mesmo diâmetro do fundo da garrafa; Hastes de cobre; e um multímetro digital da marca Impac modelo IP-302TR true rms.



Figura 5 – Aparelho detector completo

2.3 Calibração do aparelho

Para induzir a carbonatação da vigota C, fez-se um ataque químico na mesma utilizando-se ácido sulfúrico (H_2SO_4). Foram realizadas cinco sessões de ataque com três dias decorridos entre um ataque e outro. Após o quinto ataque, realizou-se o teste do aparelho nas vigotas A, B e C e os resultados podem ser observados na Figura 6 e na Tabela 2.

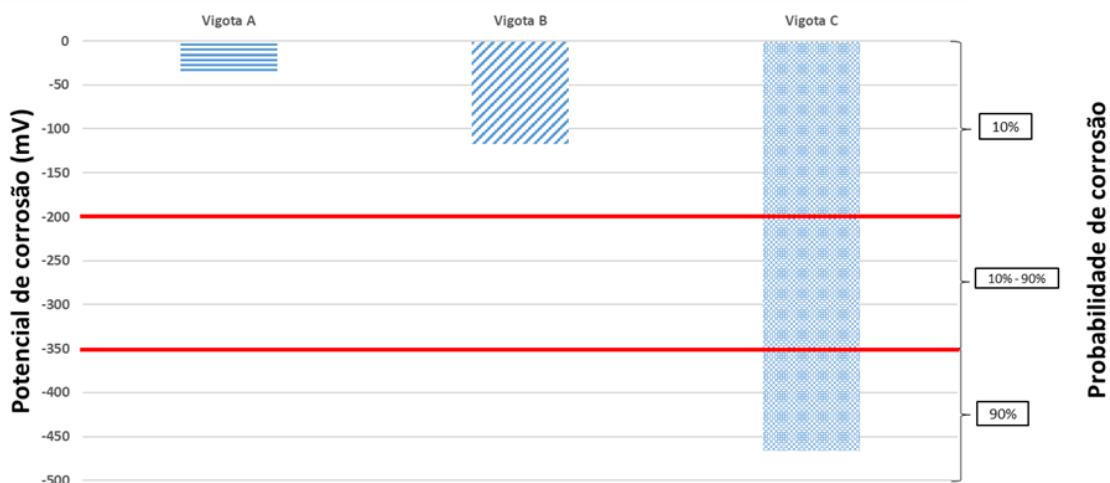


Figura 6 – Comparativo entre os potenciais nas vigotas

Tabela 2 – Potenciais medidos nas vigotas.

| Estrutura | Potencial de corrosão (mV) |
|-----------|----------------------------|
| Vigota A | -37 |
| Vigota B | -117 |
| Vigota C | -466 |

Segundo Gaier [9], a reação de um ácido com o concreto gera produtos de reação e água. Quando esses produtos são solúveis, ficam passíveis de serem carregados pela água num processo de lixiviação do concreto e por consequência causam o aumento na porosidade deste. O H_2SO_4 é um tipo de ácido mineral e sua reação com o concreto resulta em sais de cálcio solúveis e água. Por esse motivo a porosidade do concreto aumenta.

O teste nas vigotas A e B indicou probabilidade de corrosão menor que 10%. A vigota C apresentou probabilidade de corrosão maior que 90%. Assim cumpriram-se os requisitos buscados para calibração do aparelho.

2.4 Estudos de caso

Depois de calibrado, o aparelho foi levado para teste em estruturas de concreto armado localizadas na cidade do Gama, mais especificamente nos setores leste e sul. Foram desenvolvidos seis estudos de caso. Suas localizações foram representadas no mapa da Figura 7.



Figura 7 – Marcações dos locais dos estudos de caso

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

CASO 1

O local escolhido para o estudo de caso 1 é uma construção que já foi utilizada como instituição de ensino e hoje não tem mais uso definido. Ela fica dentro do terreno da Paróquia São Sebastião, no setor leste do Gama (Figura 8). Na Figura 9 observa-se que a estrutura possui parte das armaduras expostas devido ao deslocamento provocado pela corrosão ao longo dos anos.



Figura 8 – Posição geográfica do local do estudo de caso 1.



Figura 9 - Estrutura do estudo de caso 1.

CASO 2

O estudo de caso 2 foi realizado em uma estrutura localizada no setor sul do Gama (Figura 10), que tinha finalidade de uso misto entre residência e comércio. Hoje a construção é utilizada por moradores de rua. Ao observar a Figura 11 nota-se indícios da ausência de qualquer tipo de pintura ou outra forma de conservação da estrutura. Observa-se também que ao longo dos anos o concreto se deteriorou de forma intensa deixando exposta grande parte das armaduras.



Figura 10 - Localização dos casos 2, 4, 5 e 6



Figura 11 – Estrutura do caso 2.

CASO 3

O estudo de caso 3 foi desenvolvido no setor sul do Gama (Figura 13) em um poste de energia que apresenta armaduras expostas como observado na Figura 12.



Figura 12 - Foto do estudo de caso 3.

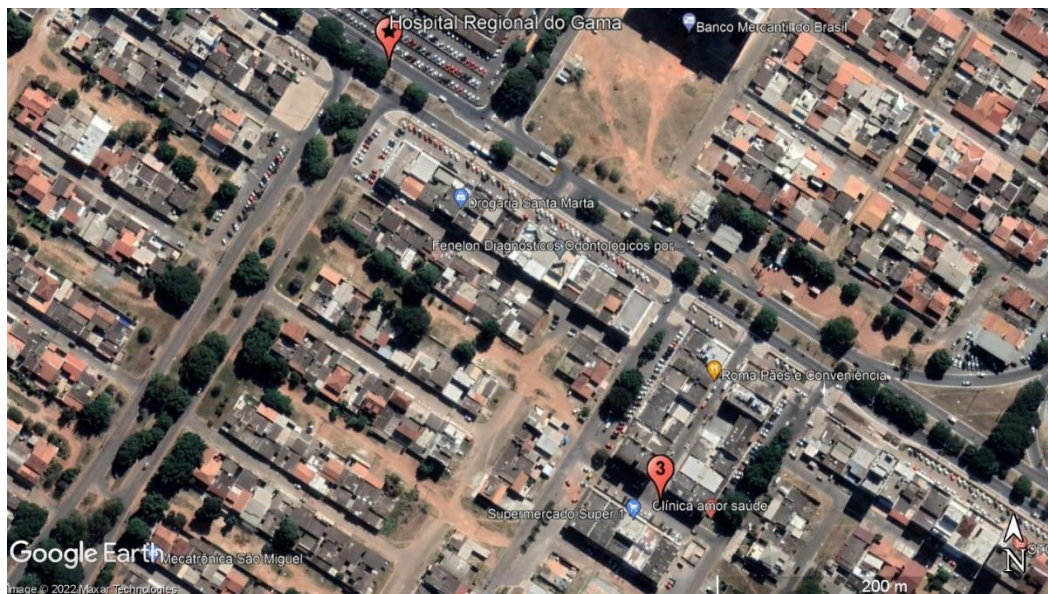


Figura 13 - Localização do estudo de caso 3.

CASO 4

O estudo de caso 4 foi realizado em uma estrutura que atualmente é de uso comercial localizada no setor sul do Gama (Figura 10). Atualmente é o local onde funciona uma oficina mecânica. O ponto onde se encontrou a armadura exposta é a parte inferior de um dos pilares do edifício como pode-se ver na Figura 14.



Figura 14 - Pilar e estrutura do estudo de caso 4.

CASO 5

O estudo de caso 5 se trata de um pilar de um prédio de uso comercial e residencial que foi abandonado ainda durante sua construção há mais de 20 anos (Figura 16). Ele está localizado no setor sul do Gama (Figura 10). Sua estrutura não está deteriorada ao nível da estrutura do caso 2, porém apresenta deslocamento do cobrimento nominal do concreto da laje como pode ser observado na Figura 15.



Figura 15 - Laje com deslocamento do cobrimento nominal. Estrutura do caso 5.



Figura 16 - Edifício abandonado, caso 5.

CASO 6

O estudo de caso 6 trata-se de uma estrutura dos fundos de um edifício comercial, localizado ao longo do pistão sul do Gama (Figura 10). Sua armadura está exposta, mas acredita-se que não seja por causa da corrosão do aço, mas sim devido a movimentação do solo causada pela construção vizinha. Essa movimentação pode ter causado as fissuras que fizeram o cobrimento nominal deslocar expondo a armadura às intempéries atmosféricas do local dando início ao processo corrosivo na estrutura (Figura 17).



Figura 17 - Estrutura do caso 6.

Análise dos dados

Os dados obtidos nos estudos de caso foram dispostos na Tabela 3. Nota-se que de acordo com a Tabela 1, as estruturas dos casos 3, 4 e 6 apresentaram valores de potencial que indicam probabilidade de corrosão acima de 90%, significando que tais estruturas devem ser analisadas minuciosamente por outras técnicas, como por exemplo a de ultrassom, que fornecerá dados quantitativos que ajudarão na tomada de decisão da escolha da forma de reparo mais adequada para cada caso.

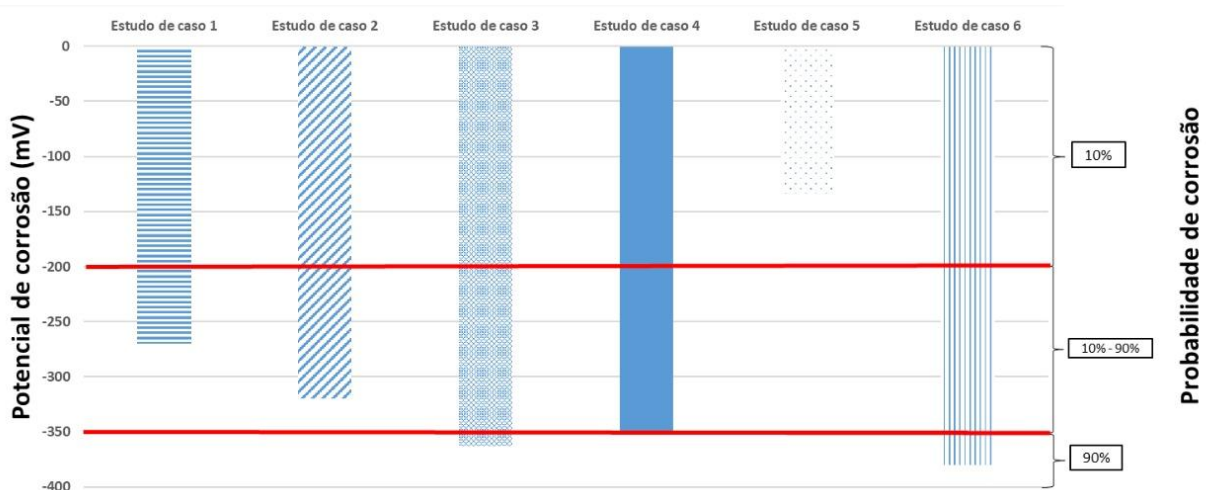
As barras de aço estudadas nos casos 1 e 2 apresentaram valores de potencial que se encontram na zona de 10% a 90% de probabilidade de corrosão e devem ser analisadas para verificar se houve perda de seção significativa das barras, assim pode-se definir se deve ser feita a substituição destas. Vale a pena continuar monitorando-as com técnica adotada em busca de alterações no potencial.

O caso 5 apresentou valor de potencial que indica abaixo de 10% de chance de corrosão não requerendo maior atenção além da restauração do revestimento nominal da barra usada no estudo.

Tabela 3 - Potencial de corrosão das estruturas em mV

| Estrutura | Potencial de corrosão (mV) |
|------------------|----------------------------|
| Estudo de caso 1 | -270 |
| Estudo de caso 2 | -320 |
| Estudo de caso 3 | -363 |
| Estudo de caso 4 | -351 |
| Estudo de caso 5 | -134 |
| Estudo de caso 6 | -380 |

Na Figura 18 pode-se ter uma noção comparativa entre os potenciais que foram medidos em cada um dos estudos de caso. As linhas vermelhas determinam as zonas de probabilidades descritas na norma ASTM C-876.



O aparelho detector de corrosão descrito pela norma ASTM C-876 é uma forma eficiente, prática e de custo extremamente baixo (quando comparada a outras que também sejam não destrutivas) para monitorar processos corrosivos em estruturas de concreto armado. Como citado no trabalho o custo para confeccionar um aparelho é de R\$170,00 e com ele poderá obter-se dados qualitativos sobre a corrosão presente na estrutura desejada sem a necessidade de danificá-la, pois trata-se de um método não destrutivo.

A técnica descrita neste trabalho tem limitações. Não é possível obter informações quantitativas sobre o processo corrosivo como por exemplo a velocidade da corrosão da armadura ou sua perda de seção. A técnica limita-se então a indicar aproximadamente uma situação de corrosão ou o estado passivo desta.

Esta técnica também não pode ser executada em concreto com pinturas ou contaminados por íons cloreto. Se o concreto estiver completamente carbonatado ou estiver muito seco, esta técnica também não deve ser aplicada.

Tendo em vista os resultados apresentados em laboratório e nos estudos de caso em campo, pode-se concluir que os objetivos deste trabalho foram concluídos com êxito.

REFERÊNCIAS

- [1] GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- [2] NASCIMENTO, F. B. C. DO; VASCONCELOS, L. T.; SOARES, A. P. F. **CORROSÃO EM ARMADURAS DE CONCRETO**. *Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS*, v. 3, n. 1, p. 177–188, 30 nov. 2015.
- [3] SALES, A. et al. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise**. 1. ed. [s.l.] Elsevier, 2014.
- [4] MOLIN, D.; COITINHO, D. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**. Mestrado em engenharia—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/15655>>. Acesso em: 10/01/2022.
- [5] CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. São Paulo: Pini, 1997.
- [6] HELENE, Paulo R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/000738379>>. Acesso em: 26/10/2021.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.
- [8] CAMPITELI, V. C. **Porosidade do Concreto**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1987. Disponível em: <http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT_00009.pdf>. Acesso em: 25/03/2022.
- [9] GAIER, C. V. **Análise do Desempenho de Materiais de Reparo Industrializados para Estruturas de Concreto**. Trabalho de Diplomação (Mestrado em Engenharia) —Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida Útil

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES PREDIAIS E PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA UMA INSTITUIÇÃO FEDERAL NO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE - CE

CRUZ, Carolaine da Silva Landim¹; MARINHO, Jefferson Luiz Alves²

¹ Universidade Regional do Cariri, Juazeiro do Norte/CE, Brasil, carolaine.cruz@aluno.ufca.edu.br, 0000-0001-5705-9060

² Universidade Regional do Cariri, Juazeiro do Norte/CE, Brasil, gerenciamentourca@gmail.com

RESUMO

Em uma edificação, é indispensável que sejam garantidos a segurança e o conforto para os usuários. Não obstante, mesmo com a evolução das tecnologias no setor da construção civil, esses princípios são afetados por diversos fatores que dão origem às manifestações patológicas que comprometem a segurança, o desempenho e funcionalidade da estrutura, fazendo-se necessárias manutenções corretivas para a devida recuperação, requerendo custos elevados que podem ser amenizados através de um planejamento bem feito. O presente trabalho tem o objetivo de estudar as manifestações patológicas em uma Instituição Federal de ensino de Juazeiro do Norte. Os dados foram obtidos através de uma inspeção visual, registrando as manifestações localizadas em toda a instituição. Com base nos dados, foi aplicada a matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) como ferramenta de qualidade para auxiliar na priorização e grau de incidência das manifestações avaliadas por meio da análise da gravidade, urgência e tendência destas. Observou-se que as manifestações relacionadas com o processo de corrosão de armadura têm os maiores graus de prioridade; e que as fissuras são as manifestações mais presentes. Concluiu-se que a matriz GUT é eficaz para elaboração de um planejamento efetivo para recuperação das áreas danificadas pelas manifestações patológicas, levando em consideração a priorização destas.

Palavras-chave: planejamento; matriz GUT; manifestações patológicas; manutenção predial.

ABSTRACT

In a building, it is essential to ensure safety and comfort for users. However, even with the evolution of technologies in the construction sector, these principles are affected by several factors that originates pathological manifestations that compromise the safety, performance and functionality of the structure, making corrective maintenance for proper recovery, requiring high costs that can be lower through well-planned planning. The present study aims to analyze the pathological manifestations in a Federal education Institution, located in Juazeiro do Norte. Data were obtained through visual inspection, recording the manifestations located throughout the institution. Based on the data, the GUT matrix (Gravity, Urgency and Tendency) was applied as a quality tool to help in prioritizing and degree of incidence of the evaluated manifestations by analyzing their severity, urgency and tendency. It was observed that the manifestations related to the reinforcement corrosion process have the highest degrees of priority; and that cracks are the most common manifestations. It was concluded that the GUT matrix is effective for the elaboration of an effective planning for the recovery of the damaged areas by the pathological manifestations, considering the prioritization of these ones.

Keywords: planning; GUT matrix; pathological manifestations; building maintenance.

1. INTRODUÇÃO

Em edifícios, desde pequeno a grande porte, é imprescindível a garantia da segurança estrutural e em segundo plano a estética para um conforto visual dos usuários destes. Todavia, esses parâmetros podem ser afetados por diversos fatores patológicos, direto ou indiretamente, e são necessárias análises técnicas para a correta recuperação e impedir o

aparecimento de novas condições anormais. As análises técnicas são o estudo da origem, abrangência, consequência e recuperação de cada anomalia.

A área da construção civil é um dos setores que mais cresce no Brasil e esse progresso gera uma competitividade entre grandes construtoras o que leva à uma redução significativa no tempo de execução dos empreendimentos e conseqüentemente à diminuição nos custos. É importante destacar a busca de elevação de lucro, executando-se obras mais baratas, utilizando-se materiais de baixa qualidade, mão de obra pouco qualificada e economizando no controle técnico-profissionais das etapas da obra. Manifestações patológicas como trincas, eflorescência, fissuras, bolor (mofo), manchas, trincas, vesículas e descolamento podem suceder como resultado dessas negligências.

Em construções públicas, muitas vezes, faltam planejamento adequado, cautela na execução e uso de materiais de boa qualidade, fiscalização constante durante o processo de construção e manutenção preventiva do edifício, ocasionando patologias advindas de todas essas imprudências.

Por conseguinte, a realização desse trabalho deu-se pela necessidade do levantamento das manifestações patológicas no revestimento de uma Instituição Federal, além da realização de uma revisão bibliográfica a fim de propor possíveis tratamentos.

2. METODOLOGIA

Para a elaboração do presente trabalho, realizou-se um estudo de caso que consistiu na investigação das patologias, buscando a obtenção de dados.

A metodologia de pesquisa iniciou-se pela análise das manifestações patológicas presentes nas estruturas de concreto armado e alvenarias. Em seguida, utilizando-se do Método da Matriz GUT, estabeleceu-se a prioridade de correção das manifestações, de acordo com o nível de incidência e urgência destas.

3. REFERENCIAL

3.1 Generalidades sobre patologia e terapia das construções

O termo patologia tem origem das palavras gregas *pathos* (doenças) e *logos* (estudos), e, portanto, significa estudo das doenças. É uma ciência utilizada em diversas áreas para estudo dos fenômenos que afetam determinado elemento como na Medicina, Construção, etc [1].

Helene [2] reitera que a Patologia “estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis”.

3.2 Sintomas e principais manifestações patológicas

Também designados como lesões, danos, defeitos ou manifestações patológicas por Helene [2], os sintomas são a reação sentida pela estrutura a algum impacto sofrido pela edificação, fora do comum [3]. São manifestações que ocorrem, geralmente, na superfície exterior dos elementos, podendo surgir e se desenvolver no interior, como é o caso de ninhos no concreto. Os sintomas contribuem diretamente para a concepção de prognósticos que levem ao conhecimento da origem, mecanismos e a natureza das manifestações, através da análise visual.

As principais manifestações patológicas são:

Manchas: são causadas pela saturação da água no material. Bauer [4] explica que, dependendo da causa, estas podem se manifestar nas cores verde, marrom ou preta, podendo aparecer em outras tonalidades também. As marrons são causadas pela ferrugem do material e as pretas ou verdes, pela ação da umidade e microrganismos que levam ao aparecimento de algas e mofos. Garcia [3] especifica um tipo de estrutura tendente às manchas, que é o concreto, e explica que a mudança de cor pode ser motivada pela presença de cloretos. O autor ressalta que outra origem pode ser o mau emprego de aditivos na mistura do concreto, esclarecendo que, embora cause um mau aspecto físico quanto à estética, não é algo preocupante.

No caso de manchas em alvenarias, deve-se investigar a origem e profundidade do dano, para determinar o reparo necessário em tempo devido de acordo com a gravidade. Para tratar essa anomalia, Caporrino [5] sugere a eliminação de toda umidade da alvenaria, em seguida, realizar a secagem do revestimento e lavar com solução de hipoclorito para a retirada dos micro-organismos. Se houver material solto, deve-se escovar a área, lavar e secar, posteriormente. Toda infiltração deve ser reparada e refeito o revestimento.

Mofos: é causado por micro-organismos, como bactérias e fungos vegetais, e macro-organismos, como cupins e roedores, que, em contato com componentes do material ou pela excreção dos macro-organismos, degradam o material (SALMA *et al.*, 2006, apud CASTRO e MARTINS [6]). Pode ser causada pela elevada umidade do ar, falhas construtivas ou umidade interna da alvenaria. A ação para restaurar inclui a limpeza da área com escovas e produtos para controle e combate de fungos.

Fissuras: são caracterizadas por uma abertura máxima de 0,5mm de espessura e podem se apresentar de diversos tamanhos [7]. Segundo Garcia (1999), as fissuras são divididas em duas classes: microfissuras - não são observáveis, existindo no interior da peça ou do elemento estrutural-, e macrofissuras - facilmente reconhecidas devido sua amplitude. Garcia ressalta que o tipo determina o meio de solucionar tal anomalia. Estas fissuras são subdivididas em vivas e mortas. As vivas são aquelas que estão ainda em processo de desenvolvimento, enquanto que as mortas já se encontram estabilizadas. Bauer [4] afirma que, se não houver movimentação na alvenaria, as fissuras podem ser causadas devido à execução do revestimento de argamassa, solicitações higrotérmicas e retração hidráulica da argamassa, sendo esse último, um dos principais fatores causadores da patologia. Cincotto (1988, apud SEGAT [8]), ainda ressalta que as fissuras podem ser decorrentes de ataque de sulfatos e das reações de expansão da argamassa de assentamento pela retardada hidratação do óxido de magnésio da cal. Scartzini (2002, apud SEGAT [8]) explica que a retração é um fenômeno físico que ocorre com os materiais de base cimentícia, cujo volume inicialmente diminui consoante à umidade do sistema e evolução da matriz de cimento. Ressalta ainda que a retração por secagem está ligada à baixa resistência à tração dos materiais à base de cimento Portland. Essas propriedades dos componentes do cimento estão ligadas diretamente com a ocorrência de fissuração, que prejudicam a estética e comprometem a durabilidade do revestimento. Caporrino [5] cita como uma possível causa para o surgimento das fissuras nas alvenarias, erros na execução do encunhamento, que acarretam deformações nas estruturas, gerando sobrecarga na alvenaria, que leva à aparição das fissuras; e a diferença de comportamento dos materiais, como argamassa e blocos. As fissuras permitem a passagem de água, podendo causar o surgimento de outras patologias como manchas, bolhas, eflorescências, proliferação de bolores e fungos que provocam doenças alérgico-respiratórias. Para Bauer [4], “a abertura das fissuras é proporcional à espessura da camada de revestimento fissurado”. Por isso, ele recomenda que seja feito um revestimento com a menor espessura possível. Algumas outras causas citadas pelo autor são: aplicação da camada de emboço com excesso de cimento; aumento da resistência à tração e módulo de deformação da argamassa; técnica de execução irregular quanto às condições da base, revestimento e mão de obra. Esta anomalia é muito comum ocorrer nos concretos, e diversos são os agentes precursores. As fissuras podem decorrer ainda no estado plástico do concreto, bem como no estado endurecido.

Trincas: são definidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte [9] como fraturas lineares no concreto, que podem ter total ou parcialmente desenvolvimento com o decorrer do tempo, diferenciando-se das fissuras apenas pela espessura da abertura. As trincas podem ter abertura entre 0,5 e 1,0 mm [7] e são evolução de fissuras causadas por movimentação térmica, sobrecarga, retração de produtos à base de cimento ou por alterações químicas dos materiais. Segundo Caporrino [5], as trincas devem receber bastante atenção, pois indica que há possibilidade de a estrutura sofrer um colapso.

Descolamento: como o próprio nome já presume, é a separação de uma ou mais camadas do revestimento, podendo compreender áreas restritas até a completude de uma alvenaria [4]. Áreas afetadas por essa patologia podem apresentar som cavo sob percussão. Algumas causas ligadas a essa patologia são: traço inadequado da argamassa, emprego de materiais com alto teor de finos, utilização de cal de baixa qualidade, aplicação da argamassa sobre uma base contaminada, muito lisa, e/ou não umedecida, entre outras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES





Após vistorias, foi realizado o registro fotográfico destas a fim de possibilitar a criação de uma tabela com todas as patologias, indicação de possíveis causas, bem como sugestão terapêutica para reparação dos danos, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Mapeamento das manifestações patológica

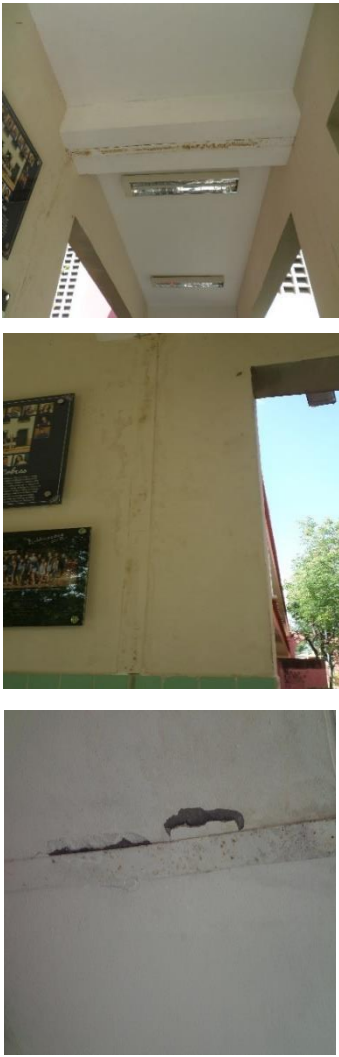

| Item | Manifestação Patológica | Manifestação detectada | Causas possíveis | Solução proposta |
|------|---|--|--|---|
| 1 |  | Desagregação do concreto da laje onde o guarda-corpo foi chumbado. | <p>Tensões de tração geradas pelo chumbamento;</p> <p>Formação de pilha eletroquímica causada pelo contato entre dois metais diferentes.</p> | <p>Remover o concreto desagregado;</p> <p>Recuperar o elemento estrutural com aplicação de argamassas poliméricas;</p> <p>Realizar novo revestimento de proteção.</p> |
| 2 |  | Descascamento de revestimento do pilar. | <p>Aplicação de argamassa com traço inadequado ou alto teor de finos;</p> <p>Aplicação de pintura sobre base contaminada, muita lisa e/ou úmida.</p> | <p>Remover toda a área afetada;</p> <p>Realizar limpeza do local;</p> <p>Aplicar o novo revestimento.</p> |
| 3 |  | Descascamento de revestimento de viga. | <p>Má execução do revestimento;</p> <p>Emprego de argamassa com excesso de finos.</p> | <p>Remover toda a área afetada;</p> <p>Realizar limpeza do local;</p> <p>Aplicar o novo revestimento.</p> |



| | | | | |
|---|--|--|--|---|
| 4 |  | <p>Manchas em alvenaria (cor marrom).</p> | <p>Mau emprego dos aditivos no concreto;</p> <p>Presença de cloreto ou fungos;</p> <p>Infiltrações.</p> | <p>Retirar a área afetada;</p> <p>Realizar secagem do revestimento e limpeza com solução de hipoclorito;</p> <p>Lavar, secar e realizar novo revestimento</p> |
| 5 |  | <p>Fissuras verticais, horizontais e inclinadas em alvenaria localizadas próximo às esquadrias</p> | <p>Expansão ou retração da argamassa</p> <p>Esforço das cargas uniformemente distribuídas</p> <p>Ausência ou má execução de elementos de vergas e contravergas</p> | <p>Remover revestimento afetado</p> <p>Refazer o revestimento aplicando uma tela de reforço</p> |










| | | | |
|--|--|--|---|
| 6     | Fissuras inclinadas e geométricas em pintura da laje | Movimentação das lajes Sobrecarga acima do previsto no cálculo estrutural | Remover o revestimento entorno das fissuras Realizar a limpeza de poeiras ou partes soltas Aplicar novo revestimento. |
|--|--|--|---|




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 7 |  | <p>Desagregação do concreto em junção de elementos estruturais pela perda da placa de junta de dilatação;</p> <p>Corrosão de armadura (cor marrom-avermelhada);</p> <p>Manchas (cor esverdeada);</p> <p>Média incidência.</p> | <p>Incorreto adensamento do concreto;</p> <p>Ferrugem do material;</p> <p>Deformações provocadas por cargas excessivas.</p> | <p>Retirar a área danificar;</p> <p>Realizar a limpeza da ferrugem e corrosão da armadura.</p> |
| 8 |  | <p>Fissura abaixo de viga.</p> | <p>Tensões excessivas;</p> <p>Mau dimensionamento do elemento estrutural (viga).</p> | <p>Retirar área afetada;</p> <p>Aplicar reforço na estrutura;</p> <p>Refazer revestimento e acabamento;</p> |

| | | | | |
|----|---|---|--|--|
| 9 |  | <p>Ferrugem em placa de ligação;</p> <p>Destacamento de pintura próximo à placa.</p> | <p>Umidade;</p> <p>Cargas excessivas no elemento estrutural.</p> | <p>Remoção da ferrugem através de métodos como lixamento ou jateamento;</p> <p>Aplicação de solução química para proteção do metal.</p> |
| 10 |  | <p>Descolamento de revestimento próximo à junção de vigas;</p> <p>Corrosão da armadura.</p> | <p>Umidade;</p> <p>Falha no adensamento ou lançamento do concreto;</p> <p>Insuficiência no cobrimento da armadura.</p> | <p>Retirar concreto em volta da área danificada e armadura corroída;</p> <p>Limpar a área, criando uma superfície aderente;</p> <p>Reconstituir armadura e aplicar produto inibidor de corrosão;</p> |

| | | | | |
|----|---|--|--|---|
| | | | | <p>Aplicar produto de reparo estrutural;</p> <p>Refazer revestimento de proteção.</p> |
| 11 |  | <p>Mofo;</p> <p>Fissuras mapeadas em revestimento de laje.</p> | <p>Ataque de agentes atmosféricos e/ou microrganismos ;</p> <p>Cargas excessivas no elemento estrutural.</p> | <p>Retirar área afetada pelas fissuras e mofo;</p> <p>Aplicar solução de proteção;</p> <p>Refazer revestimento.</p> |
| 12 |  | <p>Afundamento e rachadura em calçada de concreto.</p> | <p>Próprio peso da peça;</p> <p>Raízes de árvores próximas.</p> | <p>Recuperação com uso de espuma expansiva e/ou renovação das peças de concreto.</p> |
| 13 |  | <p>Fissuras mapeadas em alvenaria.</p> | <p>Retração da argamassa da base;</p> <p>Elevado teor de finos no traço;</p> <p>Excesso de desempenamento do revestimento;</p> <p>Deficiência no processo de cura;</p> | <p>Remover áreas afetadas;</p> <p>Refazer o revestimento.</p> |

| | | | | |
|----|---|--|--|--|
| | | | Ataque de agentes atmosféricos. | |
| 14 |  | Mofo e descolamento de alvenaria. | Ataque de agentes atmosféricos e/ou microrganismos. | Retirar áreas afetadas; Refazer revestimento. |
| 15 |  | Mofo em alvenaria em grande extensão. | Presença de microrganismos ; Umidade excessiva. | Limpeza da área com escova; Aplicação de produtos antifungicida; Realizar novo acabamento. |
| 16 |  | Mofo e fissuras mapeadas em alvenaria de banheiro. | Ataque de agentes atmosféricos e/ou microrganismos; Retração da argamassa da base; Elevado teor de finos no traço. | Retirar toda a área afetada; Refazer revestimento. |

| | | | | |
|----|---|---|--|--|
| 17 |  | Descolamento de revestimento com criação de bolhas. | Umidade na alvenaria. | <p>Remover a área afetada;</p> <p>Realizar limpeza do local;</p> <p>Renovar revestimento.</p> |
| 18 |  | Fissura no piso industrial. | Excessivo peso; Retração do concreto. | Estabilizar as fissuras por meio de colagem com material epoxídico ou poliuretano; ou costura com barras de aço. |
| 19 |  | Descolamento em placa do revestimento de laje; | <p>Uso de argamassa de revestimento muito fraca ou muito rica;</p> <p>Aplicação em superfície com resíduo de constituintes hidrófugos, como desmoldante.</p> | <p>Realizar a picagem da área;</p> <p>Eliminar qualquer substância hidrófuga;</p> <p>Realizar novo revestimento.</p> |
| 20 |  | Fissuras verticais, horizontais e inclinadas causando descolamento do revestimento. | <p>Expansão da argamassa;</p> <p>Esforço de cargas uniformemente distribuídas;</p> <p>Uso de bloco e argamassa de baixa resistência</p> | <p>Remover o revestimento entorno das fissuras;</p> <p>Realizar a limpeza de poeiras ou partes soltas;</p> <p>Aplicar novo revestimento.</p> |

| | | | | |
|----|---|--|---|--|
| 21 |  | Fissura entre esquadria e pilar. | Expansão da argamassa. | <p>Remover a área afetada;</p> <p>Limpar a superfície;</p> <p>Refazer revestimento.</p> |
| 22 |  | Fissura seguindo a geometria da alvenaria. | <p>Excessivo peso na estrutura;</p> <p>Falha na execução do revestimento.</p> | <p>Eliminar revestimento afetado;</p> <p>Realizar novo revestimento.</p> |
| 23 |  | <p>Manchas marrom-amareladas;</p> <p>Descolamento de revestimento.</p> | Umidade na alvenaria por infiltração; | <p>Eliminar toda umidade da alvenaria;</p> <p>Lavar a área afetada com solução de hipoclorito, como a água sanitária;</p> <p>Reparar infiltração;</p> <p>Refazer revestimento.</p> |

4.1 Matriz GUT – Gravidade, Urgência e Tendência

Através dos dados coletados e análise realizada, foi elaborada a Tabela GUT com indicação da incidência da patologia na instituição estudada, determinando, então, as pontuações para os critérios do método e o produto resultante. Por último, foi-se estabelecida a prioridade de reparo de acordo com o valor obtido do produto $G \times U \times T$, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Tabela GxUxT

| Manifestação patológica | Incidência | Gravidade | Urgência | Tendência | GxUxT | Prioridade |
|-------------------------|------------|-----------|----------|-----------|-------|------------|
| 01 | Baixa | 2 | 2 | 2 | 8 | 8° |
| 02 | Média | 2 | 3 | 2 | 12 | 7° |
| 03 | Média | 2 | 2 | 2 | 8 | 8° |
| 04 | Média | 3 | 2 | 3 | 18 | 6° |
| 05 | Alta | 3 | 3 | 4 | 36 | 3° |
| 06 | Alta | 2 | 3 | 4 | 24 | 5° |
| 07 | Média | 4 | 4 | 4 | 64 | 2° |
| 08 | Baixa | 3 | 3 | 3 | 27 | 4° |
| 09 | Média | 3 | 3 | 3 | 27 | 4° |
| 10 | Baixa | 4 | 5 | 5 | 100 | 1° |
| 11 | Baixa | 3 | 3 | 3 | 27 | 4° |
| 12 | Alta | 2 | 2 | 3 | 12 | 7° |
| 13 | Alta | 3 | 3 | 3 | 27 | 4° |
| 14 | Média | 2 | 2 | 2 | 8 | 8° |
| 15 | Média | 2 | 3 | 3 | 18 | 6° |
| 16 | Média | 2 | 3 | 3 | 18 | 6° |
| 17 | Média | 2 | 2 | 2 | 8 | 8° |
| 18 | Alta | 2 | 2 | 3 | 12 | 7° |
| 19 | Baixa | 3 | 3 | 3 | 27 | 4° |
| 20 | Média | 2 | 2 | 3 | 12 | 7° |
| 21 | Baixa | 2 | 2 | 2 | 8 | 8° |
| 22 | Baixa | 3 | 3 | 2 | 18 | 6° |
| 23 | Baixa | 2 | 3 | 3 | 18 | 6° |

Como pode-se observar na tabela acima, algumas patologias possuem o mesmo grau de prioridade. Logo, foi-se elaborada uma outra tabela agrupando as manifestações com seus respectivos diagnósticos, por ordem de prioridade.

Tabela 3 – Manifestações patológicas por ordem de prioridade

| Grau de Prioridade | Identificação | Manifestação Patológica Identificada |
|--------------------|-----------------|---|
| 1° | Manifestação 10 | Descolamento de revestimento e corrosão de armadura |
| 2° | Manifestação 07 | Desagregação do concreto, corrosão de armadura e manchas |
| 3° | Manifestação 05 | Fissuras verticais, horizontais e inclinadas |
| 4° | Manifestação 08 | Fissuras inclinadas |
| | Manifestação 09 | Ferrugem em placa metálica e destacamento de revestimento |
| | Manifestação 11 | Mofo e fissuras mapeadas |
| | Manifestação 13 | Fissuras mapeadas |
| | Manifestação 19 | Descolamento em placa do revestimento |
| 5° | Manifestação 06 | Fissuras inclinadas e geométricas |
| 6° | Manifestação 04 | Manchas |

| | | |
|----|-----------------|--|
| | Manifestação 15 | Mofo |
| | Manifestação 16 | Mofo e fissuras mapeadas |
| | Manifestação 22 | Fissura |
| | Manifestação 23 | Mancha e descolamento de revestimento |
| 7º | Manifestação 02 | Descolamento de revestimento |
| | Manifestação 12 | Afundamento e rachadura em piso de calçada |
| | Manifestação 18 | Fissura em piso industrial |
| | Manifestação 20 | Fissuras verticais, horizontais e inclinadas |
| 8º | Manifestação 01 | Desagregação do concreto |
| | Manifestação 03 | Descolamento de revestimento |
| | Manifestação 14 | Mofo e descolamento de revestimento |
| | Manifestação 17 | Descolamento de revestimento |
| | Manifestação 21 | Fissura inclinada |

Conforme dados das tabelas acima, as manifestações com maior incidência são as fissuras inclinadas, verticais e horizontais, rachaduras em calçadas, fissuras mapeadas e fissuras em piso industrial. Além disso, infere-se que as manifestações relacionadas com a corrosão em armaduras são as que demandam maior atenção para reparação dos danos e controle das patologias. Ademais, muitas são as ocorrências de fissuras – dos diversos tipos- encontradas no local de estudo, ocupando o 2º lugar na ordem de prioridade para manutenção corretiva.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Condizente aos objetivos traçados inicialmente para o presente trabalho, foram analisadas e registradas as manifestações patológicas da instituição federal.

Foi constatado que as patologias mais incidentes são as fissuras, como inclinadas, verticais, horizontais e mapeadas, localizadas em elementos estruturais – lajes e pilares – e alvenarias não-estruturais, especialmente próximas às janelas. Elas são decorrentes de possíveis movimentações e esforços nas estruturas, sobrecarga acima do previsto, expansão ou retração da argamassa, ausência ou má execução de vergas e contravergas.

O afundamento e as rachaduras das calçadas também são bastante visíveis, provenientes do próprio peso do material e/ou raízes de árvores próximas. Outrossim, as fissuras em pisos industriais se apresentam em alta frequência, sendo resultado de excessivas cargas e/ou retração do concreto.

Em relação à utilização do método GUT para ordenar as manifestações quando ao grau de prioridade, foi possível identificar a hierarquização dos riscos, inferindo que as patologias referentes à corrosão de armadura e desagregação do concreto demandam maior urgência para manutenção corretiva.

Com base nos resultados obtidos através deste estudo, é possível estabelecer um planejamento estratégico de correção das patologias que estão deteriorando materiais e elementos da edificação quanto à estrutura e estética, e comprometendo a funcionalidade da construção. Com um planejamento bem feito, é possível iniciar a manutenção a partir das manifestações de maior prioridade e em seguida, as que se apresentam em maior ocorrência, permitindo a utilização mais eficaz dos recursos financeiros e garantindo a segurança da edificação.

REFERÊNCIAS

[1] RODRIGUES, A. C. **Levantamento das principais manifestações patológicas em edificações residenciais de uma construtora de Porto Alegre**. 2013. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

[2] HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção de estrutura de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

- [3] GARCIA, C. de C. **Incidências patológicas no subsistema estrutura de edifícios habitacionais na Região de São Carlos/SP**. 1999. 295 f. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- [4] BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v. 2.
- [5] CAPORRINO, C. F. **Patologias das alvenarias**. 2. ed. São Paulo: Editora Oficina de textos, 2018.
- [6] CASTRO, M. D. de., MARTINS, R. M. **Análises e sugestões terapêuticas das manifestações patológicas de infiltração de um edifício com mais de 20 anos** - estudo de caso. 2014. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575: **Impermeabilização** - seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.
- [8] SEGAT, G. T. **Manifestações Patológicas Observadas em Revestimentos de Argamassa: Estudo de Caso em Conjunto Habitacional Popular na Cidade de Caxias do Sul (RS)**. 2005. 166 f. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- [9] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 083: **Tratamento de Trincas e Fissuras** - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2006.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida útil

A INFLUÊNCIA DOS FATORES DE INTEMPERISMOS NA OCORRÊNCIA DA DEGRADAÇÃO DAS FACHADAS

ROMEIRO, Thália Raelly de L. M.¹; BAUER, Elton²;

¹ Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, raellythalia20@gmail.com, 0000-0002-8299-1754

² Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, elbauerlem@gmail.com, 0000-0003-4559-874X

RESUMO

O presente artigo tem por objetivo apresentar o estudo da degradação das fachadas, que são muitas vezes carentes de intervenções. As fachadas possuem uma importância significativa para o edifício, não só por fornecer a proteção aos intemperismos, mas também por questões visuais, trazendo para os moradores e usuários maior satisfação quando estão com o desempenho adequado. Entender sobre os agentes de degradação e o que influencia para reduzir o desempenho da fachada é essencial, sendo assim, este artigo visa simular uma fachada com revestimento cerâmico, localizado em Brasília - DF, a partir do software WUFI ® PRO. A partir dos dados climáticos e das características dos elementos serão obtidos os dados de radiação total, temperatura superficial, chuva dirigida e o índice de intensidade da temperatura para cada uma das fachadas. Esses resultados foram comparados com o fator de danos (FD) e o Fator Geral de danos (FGD) de cada uma das fachadas para avaliar a influência de cada um dos intemperismos e percebeu-se que a fachada norte foi a que apresentou maior degradação.

Palavras-chave: Fachadas; WUFI ® PRO; Degradação; Fator de Danos; Fator Geral de Danos.

ABSTRACT

This article aims to present the study of the degradation of facades, which are often in need of interventions. Facades are of significant importance to the building, not only for providing protection from weathering, but also for visual reasons, bringing residents and users greater satisfaction when they are performing properly. Understanding the agents of degradation and what influences to reduce the performance of the facade is essential, therefore, this article aims to simulate a facade with ceramic coating, located in Brasília - DF, using the WUFI ® PRO software. From the climatic data and the characteristics of the elements, the data of total radiation, surface temperature, directed rain and the temperature intensity index for each of the facades will be obtained. These results were compared with the damage factor (FD) and the General Damage Factor (FGD) of each of the facades to evaluate the influence of each one of the weathering and it was noticed that the north facade was the one that showed the greatest degradation.

Keywords: facades; WUFI ® PRO; Degradation; Damage Factor; General Damage Factor.

1. INTRODUÇÃO

Os edifícios são formados por diversos elementos e cada um deles se comporta de uma forma e recebe uma ação de degradação específica, dependendo da orientação geográfica do edifício, dos tipos de materiais que foram utilizados em cada uma das camadas, da orientação solar e da altura da edificação. Entre os sistemas que compõem um edifício, pode-se citar as fachadas, as coberturas, os pilotis, entre outros. As fachadas são a envolvente dos edifícios elas o protegem dos intemperismos, dos agentes de degradação, além da importância estética. As fachadas como afirmado por Silva *et al.* [1], são sistemas complexos de se projetar, construir e manter, por isso estudar o comportamento das fachadas e propor modelos que facilitem no entendimento do sistema é fundamental.

As fachadas sofrem diversas ações dos agentes de degradação ao longo do seu ciclo de vida. Pode-se citar as chuvas dirigidas, as variações de temperatura, a radiação solar, a umidade e o uso inadequado. Os agentes de degradação atuam de formas diferentes dependendo do meio em que se encontra a edificação, podendo causar anomalias em níveis diversos na edificação. Como apresentado por Bauer *et al.* [2], é fundamental definir os parâmetros e os índices de gravidades entre as anomalias para que possam ser aplicados os modelos de degradação. O nível de degradação dos edifícios pode ser avaliado a partir de uma inspeção predial rigorosa, como afirmado por Madureira *et al.* [3] e essa avaliação auxilia também na implementação do plano de manutenção.

A realização das atividades de manutenção auxiliam a manter o edifício com o desempenho adequado e o planejamento dessas atividades devem ser realizadas logo na fase de projeto, para que tenham todas as informações necessárias de como fazer e quando fazer as manutenções dos elementos, evitando assim uma propagação da degradação e auxiliando no aumento do desempenho e da vida útil estimada.

Sendo assim, diversos estudos vem sendo realizados para analisar a degradação das fachadas, tendo em vista a importância desse sistema para o edifício. Com isso, este artigo tem por objetivo analisar a influência do intemperismo na degradação dos edifícios. Para isso será utilizado o software WUFI® PRO para auxiliar na modelagem do edifício.

2. DEGRADAÇÃO DAS FACHADAS

Estudar as fachadas é fundamental para se obter um desempenho adequado e garantir a satisfação dos moradores e usuários. As fachadas e as coberturas são os elementos da edificação que apresentam mais manifestações patológicas tendo em vistas que estão mais expostas aos intemperismos. O estudo de Lopes [4], aborda as carências de manutenções dos elementos que compõem a edificações e demonstra que a fachada é o que possui maior carência de intervenções.

As fachadas podem ter diversos tipos de revestimentos, entretanto os mais comuns são os com acabamento em pintura e cerâmica. O edifício simulado neste estudo é de revestimento cerâmico e por ser compostos por diversos elementos é fundamental entender a sua composição para planejar as ações de intervenções de maneira adequada, reduzindo a degradação. As fachadas com placas cerâmicas são o tipo de revestimento mais sensíveis, pois dependem da qualidade dos materiais utilizados, da execução de aplicação e da mão de obra de forma geral.

Para a realização do estudo da degradação vem sendo utilizado pelos pesquisadores do Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília (LEM-UnB) o Método de Mensuração de Degradação (MMD), como abordado nos estudos de Silva [5]; Souza [6, 7] e Piazzarollo [8], que visam medir a degradação das fachadas dos edifícios. Para a aplicação do método é necessária a realização de uma inspeção, seguido pelo mapeamento e a quantificação da degradação. Para medir a quantificação da degradação a fachada é dividida em malha com dimensão de 0,50 m x 0,50 m e com isso é realizado o mapeamento.

Da mesma forma, aplica-se o fator de dados para a quantificação da degradação, que trata-se de um índice que indica o grau de ocorrência de anomalias e com isso é possível estabelecer um parâmetro inicial da degradação. O FD é obtido a partir do somatório das áreas danificadas, dividido pela área total da fachada, como apresentado na equação 1.

$$FD = \frac{\sum A_{d(n)}}{A_t} \quad (1)$$

Também é calculado o Fator Geral de Danos (FGD), como apresentado na equação 2, que analisa a degradação da fachada ponderando os danos. Nesse caso são utilizados para a realização do cálculo dois pesos, um que leva em consideração as condições de danos e outro que analisa as importâncias relativas das patologias.

$$FGD = \frac{\sum A_{d(n)} \times k_n \times k_{cn}}{\sum k_{máx} \times A_t} \quad (2)$$

$A_{d(n)}$: a área danificada por uma patologia n (m²);

K_n : constante de ponderação das patologias, em função do nível de condição;

k_{cn} : constante de ponderação da importância relativa das patologias detectadas;

$\Sigma k_{máx}$: somatório das constantes de ponderação equivalente ao nível da pior condição;

A_t : Área total da amostra de fachada (m²).

3. METODOLOGIA

O presente artigo tem por objetivo modelar a fachada de um edifício localizado na AOS 2 - Octogonal, Brasília – DF e atualmente possui 17 anos. Suas fachadas principais encontram-se voltadas para Norte, Sudeste e Sudoeste e as fachadas secundárias voltadas para Nordeste, Sul e Noroeste. O edifício tem um formato de uma pétala e na Figura 1 é possível observar o formato da edificação.



Figura 1: Localização e formato do Edifício. Fonte: Google Maps

Para elaboração na simulação é necessário, inicialmente, caracterizar o sistema, identificando as propriedades dos componentes, para que na sequência seja realizada a simulação no software WUFI® PRO que realiza uma simulação higratérmica da fachada da edificação. O edifício possui fachada em cerâmica, argamassa externa, estrutura em bloco cerâmico e argamassa interna, a espessura das camadas totalizavam 13,5 cm, mas na tabela 1 é possível observar a espessura de cada uma das camadas que serviu de base para modelar no WUFI.

Tabela 1: Caracterização das camadas

| Camada | Espessura (m) |
|-----------------------------|---------------|
| Revestimento cerâmico | 0,005 |
| Argamassa de emboço externa | 0,02 |
| Bloco cerâmico | 0,09 |
| Argamassa interna | 0,02 |

Outra informação necessária sobre a fachada para a simulação é sua cor, que no caso da fachada do estudo é branco gelo. Com a cor da fachada é inserido no WUFI o valor da absorvância térmica, que varia de acordo com a cor e pela tabela de Dornelles [9] é de 48,90 para a cor da presente fachada.

As informações foram inseridas no WUFI e foram colocadas câmeras de análise como observado na Figura 2.



Figura 2: Caracterização WUFI

As câmeras foram posicionadas entre as faces externas e internas e nas interfaces entre cada um dos componentes, com foco em obter, por exemplo, os dados de temperatura e grau de umidade de cada camada. As camadas analisadas foram as seguintes:

1. Superfície da Placa Cerâmica;
2. Interface Placa Cerâmica - Argamassa Externa;
3. Interface Argamassa Externa - Bloco Cerâmico;
4. Interface Bloco Cerâmico - Argamassa Interna;
5. Superfície da Argamassa Interna.

Além do posicionamento das câmeras também foi inserido no software os dados de altura, que foi adotado um perfil de edifício alto, com alturas entre 10 m e 15 m. Com isso, foi realizada a simulação para cada uma das orientações, considerando as Norte, Sul, Leste e Oeste.

Os dados foram simulados a partir dos dados climáticos de Brasília, obtidos do INMET e foram simulados três anos, sendo descartados os resultados dos dois primeiros anos, como amostragem. Com a simulação realizada foram retirados do software os seguintes dados para cada uma das interfaces e para cada hora ao longo do ano de referência:

- Radiação total;
- Radiação direta;
- Temperatura ambiente externa;
- Temperatura superficial;
- Umidade;
- Chuva dirigida.

Também foram utilizados no estudo, a análise do fator geral de danos, que a partir do FGD e do FD para as amostras das fachadas norte, sul, leste e oeste, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Fator de danos das fachadas

| Orientação | Área total (m ²) | Fator de Danos (FD) | Fator Geral de Danos (FGD) |
|------------|------------------------------|---------------------|----------------------------|
| Norte | 1217,25 | 0,144 | 0,03 |
| Sul | 1218,75 | 0,142 | 0,03 |
| Leste | 964,75 | 0,08 | 0,016 |
| Oeste | 977,5 | 0,073 | 0,015 |

Os dados de FGD e FD foram fornecidos a partir da base de dados dos pesquisadores do Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília (LEM-UnB).

Com o objetivo de analisar a amplitude térmica de cada uma das interfaces, foi calculado o Iit para o ano simulado conforme metodologia apresentada por Nascimento [10]. O Iit é calculado de acordo com a equação 3.

$$Iit = \sum \frac{\Delta T_{\text{médio}} \times f_n}{f_{\text{total}}} \quad (3)$$

Onde:

Iit é o índice de intensidade da temperatura, expresso em graus Celsius (°C);

$\Delta T_{\text{médio}}$ é a amplitude de temperatura média da faixa de ocorrência, expresso em graus Celsius (°C);

f_n é a frequência de ocorrência da faixa n de ΔT (n vai de 1 a 4);

f_{total} é a frequência de todas as ocorrências das quatro faixas de estudo no ano ($f_{\text{total}}=365$)

Sendo assim, na Tabela 3 é possível observar a variação de temperatura em cada uma das faixas.

Tabela 3: Faixas de Temperatura

| Faixa | ΔT (° C) | ΔT médio (° C) |
|-------|------------------|------------------------|
| 4 | > 27,7 | 31,8 |
| 3 | 19,6 a 27,7 | 23,7 |
| 2 | 11,9 a | 15,6 |
| 1 | < 11,5 | 7,5 |

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados de entrada incluídos no software WUFI foi obtido um banco de dados com as informações sobre a radiação, a umidade, a temperatura e a chuva dirigida para cada uma das fachadas ao longo de todas as horas, durante o ano simulado, totalizando 8760 dados, para cada um dos parâmetros estudados, em cada uma das fachadas. Sendo assim, foi realizada um tratamento dos dados no Excel e observou-se que a fachada que recebe mais radiação é a fachada norte, quando comparada com as demais, principalmente, entre os meses de abril até agosto. A fachada sul, por outro lado é a que apresentou, na maior parte do ano, menores radiações, como pode ser observado na Figura 3.

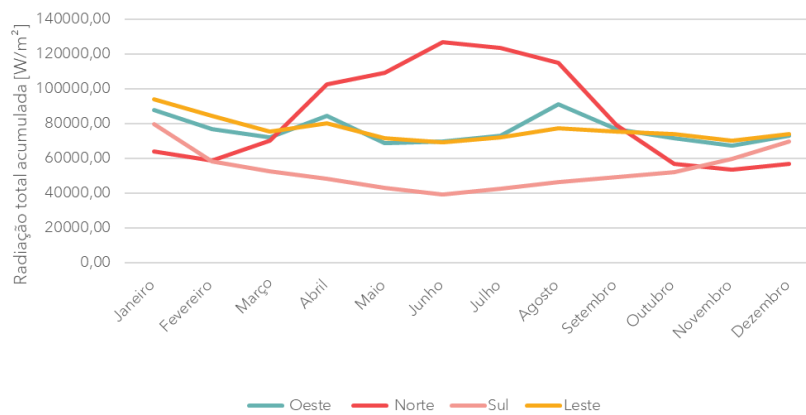


Figura 3: Radiação Total Acumulada

Fazendo a análise da temperatura do ambiente externo, percebeu-se que as maiores temperaturas ocorreram nos meses de fevereiro e setembro, entretanto as maiores amplitudes térmicas ocorreram nos meses de junho e julho, como apresentado na Figura 4.

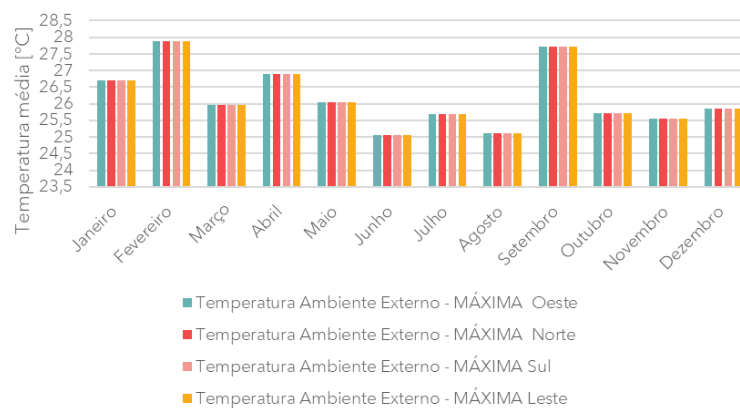


Figura 4: Temperatura ambiente externo

Por outro lado, quando se analisa a temperatura superficial em cada uma das fachadas, percebeu-se que as fachadas que apresentam maiores temperaturas são a norte e a oeste, como observado na Figura 5.

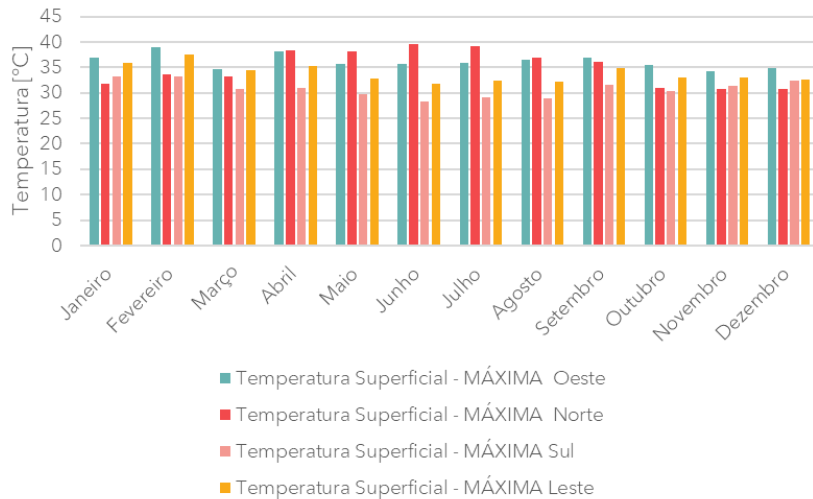


Figura 5: Temperatura Superficial

Analisando a chuva dirigida em cada uma das fachadas, percebeu-se que a fachada que recebeu maior precipitação foi a fachada Norte e principalmente nos meses de março e novembro, como pode ser observado na Figura 6 e na Tabela 4.

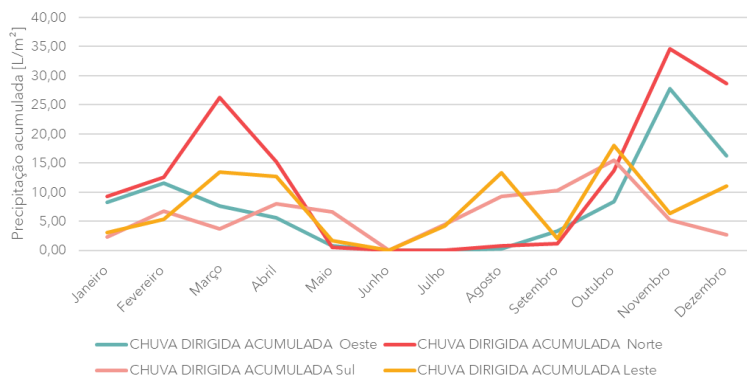


Figura 6: Chuva Dirigida

Tabela 4: Chuva Dirigida Acumulada

| Orientação | Chuva dirigida acumulada anual [L/m ²] |
|------------|--|
| Norte | 143 |
| Sul | 74,8 |
| Leste | 91,4 |
| Oeste | 89,9 |

As fachadas oeste e leste apresentaram um acumulado de chuva dirigida próximo, mas inferior ao que foi encontrado para a fachada norte. Observou-se que ao longo dos meses de maio até o mês de setembro, o quantitativo de precipitação foi reduzido, principalmente na fachada norte, o que pode ser comprovado por ser um período de poucas chuvas na região do estudo.

Por fim, foram avaliados os índices de intensidade de temperatura (Iit), para cada uma das fachadas e percebeu-se que a fachada oeste apresentou o maior valor do Iit, entretanto a fachada norte também apresentou um valor de Iit próximo ao da fachada oeste, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 4: Índice de temperatura das fachadas

| Fachada | Iit |
|---------|-------|
| Norte | 17,73 |
| Sul | 14,22 |
| Leste | 15,38 |
| Oeste | 18,89 |

Sendo assim, a partir dos dados de FGD e FG, foi possível confirmar que a fachada norte é que apresenta uma degradação mais expressiva. Percebeu-se que a chuva dirigida, a radiação total e as temperaturas superficiais foram mais expressivas na fachada norte, assim como, o fator geral de danos (FGD) e o fator de danos (FD) que apresentaram valores elevados para essa fachada.

Os resultados do FGD das fachadas oeste e leste de 0,015 e 0,016, respectivamente e o do FD de 0,073 para a oeste e de 0,08 para a leste, por serem próximos para as duas fachadas condiz com o resultado da radiação total e da chuva dirigida acumulada, que foram similares ao longo do ano estudado. Entretanto, ressalta-se que o valor do Iit foi maior para a fachada oeste, mas que não refletiu na análise encontrada pelos fatores de degradação, como citado anteriormente.

Entretanto observa-se que o valor do FGD e do FD para a fachada sul também foi elevado, quando comparado com as outras fachadas, mas analisando os fatores de intemperismos estudados, observa-se que a radiação total, a chuva dirigida e o Iit foram menores para a fachada sul. Sendo assim, verifica-se a importância de estudar outros fatores de intemperismos que não foram o escopo deste estudo e que podem explicar o fator de danos mais elevado.

6. CONCLUSÃO

Com o presente trabalho foi possível verificar a importância dos estudos os intemperismos e como eles podem influenciar na degradação das fachadas. O software WUFI auxiliou na simulação das fachadas e com ele foi possível analisar intemperismos como a radiação solar, a chuva dirigida e a variação térmicas das fachadas.

Os resultados apresentaram que a fachada norte é a que apresenta maior ação dos intemperismos, como radiação e chuva dirigida, o que coincidiu com os dados de FGD e FD, que os maiores fatores de degradação foram para essa fachada. Como são inseridas no software as informações dos dados climáticos do IMET de Brasília, os resultados encontrados são mais característicos para a região de estudada, não podendo ser generalizado, mas que a metodologia pode ser aplicada para análise de outros parâmetros de intemperismos, a partir da simulação do WUFI e para outras regiões.

Como os resultados dos fatores de degradação para a fachada sul não foram tão condizentes com os dos parâmetros encontrados com a simulação, tendo em vista que, os valores do FGD e de FD foram elevados, entretanto observou-se que os quantitativos da radiação e da chuva dirigida foram menores para essa fachada. Sendo assim, sugere-se nos próximos estudos analisar outros parâmetros e agentes que podem ter influenciado para a degradação elevada da fachada do presente edifício.

REFERÊNCIAS

- [1] L. Silva, I. Flores-Colen, N. Vieira, A.B. Timmons, P. Sequeira, (2016) **Durability of ETICS and premixed one-coat renders in natural exposure conditions**, in: João M.P.Q. Delgado (Ed.), *New Approaches to Building Pathology and Durability*, vol. 6, Springer, Singapore.
- [2] Bauer, E.; Souza, J. S.; Mota, L. M. G. (2021) **Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 23-43, out./dez.
- [3] Madureira, S.; Flores-Colen, I.; Brito, J.; Pereira, C. (2017) **Maintenance planning of facades in current buildings**. *Construction and Building Materials*.
- [4] Lopes, T. (2005). **Fenómenos de Pré- Patologia em Manutenção de Edifícios – Aplicação aos revestimentos ETICS**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, Porto.

-
- [5] Silva, M. N. B. (2014). **Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida Útil de Revestimentos de Fachada – Aplicação ao Caso de Brasília/DF**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-006A/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 198 p.
- [6] Souza, J.S. (2016). **Evolução da degradação de fachadas- efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.
- [7] Souza, J. S. (2019). **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. Tese de doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DT-15A/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139 p.
- [8] Piazzarollo, C. B. (2019). **Estudo da Evolução e da Gravidade da Degradação nas Diferentes Zonas Componentes da Fachada**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 11A/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 152 p.
- [9] Dornelles, K. A. (2008) **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Látex Acrílica e PVA**. Tese de Doutorado. Univesidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- [10] Nascimento, M. (2016) **Aplicação da simulação higratérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios**. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida Útil

O IMPACTO DAS PATOLOGIAS EM CALÇADAS DE CONCRETO SIMPLES

RENK, Marcos Brenol¹; PEREIRA, Claudio Henrique de Almeida Feitosa²

¹ Estácio de Sá, Brasília, Brasil, marcosrenk@gmail.com, 0000-0002-5873-7705

² Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, claudiochp@gmail.com, 0000-0003-2170-0068

RESUMO

As calçadas constituem um caminho de uso público, inserido na paisagem urbana, destinados à circulação de pessoas de diferentes idades e condições físicas. A pavimentação de calçadas executada em concreto simples moldado *in loco* apresenta-se como uma escolha de pisos adequados que permite um traslado seguro e confortável. Ressalta-se que o concreto é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, porém seu uso correto está diretamente ligado a adequação à sua finalidade e a agressividade ambiental a qual estará vinculado. Neste contexto, este trabalho tem o objetivo de identificar e avaliar as principais patologias que se manifestam nos pavimentos rígidos de calçadas, entendendo sua influência na acessibilidade dos passeios públicos. A metodologia busca a quantificação de dados levantados obtidos através da análise tátil-visual e registro fotográfico. O local escolhido para o desenvolvimento da pesquisa foi a cidade de Águas Claras, localizada no Distrito Federal. Foi realizado um processo de divisão da cidade em áreas e subáreas para facilitar a amostragem. As avaliações estatísticas permitiram a compreensão das principais ocorrências patológicas: desgaste superficial, fissuras, esborcinamento, entre outras. As patologias do concreto encontradas nas calçadas são responsáveis por prejudicar a funcionalidade dos passeios públicos interferindo na livre circulação de pessoas, em qualquer condição física, de forma agradável e segura.

Palavras-chave: calçadas, concreto, patologias, pavimento rígido

ABSTRACT

The sidewalks are very important structural elements as they draw the urban landscape and represent a living space. This element can appear in several ways, the most common are the rides performed in simple concrete shaped in loco. Concrete is one of the most used building materials in the world, but its correct use is directly linked to its purpose and the environmental aggressiveness to which it will be linked. This work has the objective of identifying and analyzing the main damages that are manifested in rigid sidewalk pavements, understanding its influence on the accessibility of public sidewalks. The place chosen in the Federal District is the city of Águas Claras because it is young, modern and presents infrastructure problems caused by accelerated growth linked to lack of planning. This methodology seeks the quantification of data through visual and photographic analysis. This process is done by dividing the city into areas and subareas to facilitate sampling. The statistical evaluations allow the understanding of the main pathological occurrences: superficial wear, cracks, smearing, among others. The concrete damages found on the sidewalks are responsible for harming the functionality of public walkways interfering with the free traffic of people, in any physical condition, in a pleasant and safe way.

Keywords: sidewalks, concrete, damages, rigid pavements.

1. INTRODUÇÃO

As cidades são compostas por vários sistemas interligados buscando atender as necessidades das pessoas. As calçadas aparecem dando forma para os centros urbanos e assegurando uma parte importante do deslocamento. A acessibilidade é uma característica importante, pois facilita o uso desses sistemas, e o nível de qualidade é essencial e traz benefícios para os usuários [1]. Porém, muitas vezes, problemas relacionados à qualidade do pavimento interferem no percurso da caminhada.

Um dos materiais mais utilizados na execução de calçadas é o concreto simples moldado “in loco”, e quando bem executado compõe um ambiente seguro e agradável, visto que, as calçadas são consideradas plataformas de deslocamento urbano indispensáveis.

O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade [2], mas demanda atenção e uma programação no intuito de alcançar as características desejadas. Quando surgem as anomalias e patologias em sistemas construtivos e em seus componentes, geralmente, a origem está na fase de concepção ou execução [3]. Sendo assim conhecer as diferentes formas de danos e seus mecanismos geradores, facilita o entendimento e servirá de auxílio na escolha de materiais e sistemas mais apropriados ao ambiente, resultando em construções mais duráveis, seguras e acessíveis [4].

As calçadas de concreto fazem parte da edificação pois é através delas que se pode sair do ambiente privado para o ambiente externo então merece tanta atenção quanto qualquer outra construção ou partes da edificação. Uma enorme quantidade de edifícios em todo mundo tem problemas relacionados a um desempenho insatisfatório seja em termos globais, seja em termos de suas partes. Uma grande parte desses problemas, desde que mereça uma análise metódica individualizada, poderá ser resolvida [5].

Diante da importância que as calçadas têm para a urbanização das cidades e como elemento de inclusão social este artigo busca avaliar a ocorrência de patologias em passeios públicos, suas possíveis causas, e provável interferência na acessibilidade.

1.1 Acessibilidade

A acessibilidade pode ser avaliada por diferentes óticas. Quatro perspectivas básicas para mensuração de acessibilidade podem ser identificadas, como infraestrutura, localização, pessoas e serviços públicos [1]. Ao mesmo tempo, que fatores individuais como as necessidades e habilidades dos usuários, atributos socioeconômicos e demográficos têm os mesmos efeitos na acessibilidade que os fatores de uso e transporte [6].

Para denominar o quanto uma área é apropriada para um andar amigável (*walking friendly*) surge o termo em inglês, *Walkability*. Segundo a *University College Of London* [7], os modelos de transitabilidade (*walkability*) predizem como é fácil para as pessoas alcançarem os locais para onde querem caminhar. Deve-se notar que a caminhada não mede o quão agradável é percorrer essas rotas, mas é um bom indicador do potencial das pessoas para fazer essas viagens a pé. Desse modo, a acessibilidade tem que ser promovida para todos sem discriminação de sexo, idade e condições. A cidade é a união de pessoas, portanto, deve-se incluir e não excluir os que nela vivem [8]. Cambra [9] cita que a acessibilidade é um dos fatores importantes que correlaciona o ambiente construído a atividade física fora de casa o que inclui a caminhada por recreação ou para os compromissos do dia a dia.

Sendo assim, Villarouco [10] afirma que viver em um país onde as calçadas são irregulares com pisos inadequados, sinalização ineficiente e iluminação deficiente a população de idosos e mais PCD, PMR, gestantes, obesos vivem e sentem os efeitos na inacessibilidade. Miotti [11] concluiu que muitas mudanças precisam ser implementadas e que projetos de engenharia civil necessitam de criatividade e visão holística do engenheiro para melhorar a acessibilidade.

1.2 Calçadas acessíveis

Calçadas adequadas representam a melhor vivência do espaço urbano. E as calçadas também podem ser definidas como espaços livres urbanos, uma vez que, os espaços livres para o desenvolvimento da forma urbana desempenham a função de modelar a estrutura urbana, integrando usos conflitantes, aqui no caso entre pedestres e veículos automotores [12].

O padrão de urbanização nas cidades brasileiras é de baixa densidade, porém com tendência de expansão horizontal contínua, ocorrendo, muitas vezes, sem ordenamento e planejamento [8]. A Lei nº 10.098 [13], em seu capítulo segundo, dos Elementos da Urbanização, destaca que: “O projeto e o traçado dos elementos de urbanização públicos e privados de uso comunitário, nestes compreendidos os itinerários e as passagens de pedestres, os percursos de entrada e saída de veículos, as escadas e rampas, deverão observar os parâmetros estabelecidos pelas normas técnicas de acessibilidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas da ABNT”.

A ABNT NBR 9050 [14], item 6.1.1.2, diz que a rota acessível é um trajeto contínuo, desobstruído e sinalizado, que conecta os ambientes externos e internos de espaços e edificações, e que pode ser utilizada de forma autônoma e segura por todas as pessoas. A rota acessível externa incorpora estacionamentos, calçadas, faixas de travessias de pedestres (elevadas ou não), rampas, escadas, passarelas e outros elementos da circulação.

Conforme a ABNT NBR 9050 [14], calçada é parte da via, normalmente segregada, em nível diferente, não destinada à circulação de veículos, reservada ao trânsito de pedestres e, quando possível, à implantação de mobiliário urbano, sinalização, vegetação e outros fins. Ao mencionar “quando possível” faz menção ao critério largura do passeio, pois este dado que limitará a presença dos mobiliários urbanos. No CTB apenas o passeio como uma parte da calçada deve ser livre de interferências e destinada à circulação exclusiva de pessoas e, excepcionalmente, de ciclistas.

Um item determinante para execução da calçada acessível é a utilização de um sistema adequado de construção, especificamente, o material de cobertura superficial das calçadas. Os principais são placas de concreto, blocos de concreto, concreto moldado in loco e ladrilhos hidráulicos. Assim o mosaico português e outros tipos de pedras muito utilizados por urbanistas estão sendo substituídos por pisos anteriormente considerados menos nobre como ladrilho hidráulico e blocos intertravados de concreto, que além de atenderem as exigências funcionais tiveram seu padrão estético melhorado pela indústria especializada [15].

Nesta linha o material concreto aparece como um excelente revestimento para as calçadas, pois além de atender a todos os requisitos normativos quando bem executado também tem custo mais baixo e apresenta um resultado esteticamente agradável.

1.3 Concreto para calçadas

As calçadas são pavimentos rígidos executados, na maioria das vezes, em concreto simples. A ABNT NBR 6118 [16] entende que os elementos estruturais podem ser elaborados com concreto que não possui qualquer tipo de armadura, ou que a possui em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado. Permitindo aplicação quando o concreto simples estrutural tiver garantidas algumas condições básicas, como confinamento lateral (caso de estacas ou tubos), compressão em toda seção transversal (caso de arcos), apoio vertical contínuo no solo ou em outra peça estrutural (caso de pilares, paredes, blocos ou pedestais). Dos requisitos normativos, ABNT NBR 15575 [17], do usuário, a serem avaliados quanto à adequação ao uso de um sistema, enquadram-se para o concreto utilizado na execução de calçadas, destacando-se: desempenho estrutural (evitar a ruína da estrutura), estanqueidade (infiltração), conforto tátil e antropométrico.

Produzido, essencialmente, pela mistura, em determinadas proporções, de um aglomerante (cimento Portland), com agregados miúdo e graúdo, e água. Podendo ainda, se necessário, usar aditivos e adições minerais. Carter [18] destaca a importância das quantidades dos materiais, e a quantidade correta de cimento Portland, principalmente, presente na superfície da calçada por que é onde as intemperes atacam o concreto e onde o concreto recebe o atrito de pneus de carros e caminhões, bem como o tráfego de pedestres. Destaca-se que o cimento Portland é um dos materiais de construção mais consumidos pelo homem e isso se deve às suas características peculiares que conferem as argamassas e concretos, como durabilidade e resistência a cargas, e por ser oriundo do processamento de matérias-primas abundantes em todo o planeta, destaca Santos *et al.* [19].

O pavimento rígido é constituído geralmente por uma única camada superior (laje) de concreto de cimento, geralmente cimento Portland, que funciona simultaneamente como camada de desgaste e de base. O concreto é um material frágil com resistência à tração relativamente baixa. Quando a tensão de tração induzida pelo tráfego ou a carga ambiental ou ambos excedem a resistência à tração de concreto, uma laje de concreto iria começar a apresentar algum tipo de dano [20]. A resistência à flexão do concreto faz com que o pavimento não sofra deformações acentuadas, mesmo quando

sujeito a tráfego pesado e intenso e em solos que possua baixa capacidade de carga [21].

No Brasil a ABNT NBR 12255 [22] aponta que as etapas necessárias para execução de uma calçada são leito, base e revestimento. A Associação Brasileira de Serviços de Concretagem [23] recomenda começar pela compactação do solo sobre o qual vai ser construída a calçada. Em seguida, faz-se um contrapiso com uma camada de 3 cm, no mínimo, de brita compactada nivelada. Usar lona plástica sobre a brita para evitar a absorção de água do concreto pelo agregado e ascensão de umidade, bem como, permitir a livre movimentação do concreto em relação a base. A camada de concreto deve ter entre 5 e 7 centímetros.

Para Czarneck e Poon [25] as características que afetam o desempenho estrutural da laje de calçada incluem a espessura da laje, a espessura da base granular, o grau de saturação dos solos de subleito, a resistência do concreto e as cargas veiculares. A espessura da calçada é o maior fator isolado na determinação da capacidade estrutural das lajes suportadas no solo. Outros fatores incluem a resistência do concreto e as condições de suporte da base.

Uma vez que a calçada seja bem concebida e executada atenderá aos princípios normativos que querem que os materiais de revestimento e acabamento devem ter superfície regular, firme, estável, não trepidante para dispositivos com rodas e antiderrapante, sob qualquer condição (seco ou molhado).

1.4 Patologias em calçadas de concreto Simples

As estruturas de concreto, por meio da interação que possuem com o meio ambiente, estão submetidas a diversos tipos de agentes físicos e químicos, que fazem com que elas se degradem ao longo do tempo. Para minimizar esse processo, a dosagem e as etapas de mistura, lançamento, adensamento e cura, são necessárias para que o concreto alcance um grau de resistência e durabilidade. Segundo Frizzo [26] a determinação da quantidade de água é muito importante para as reações de hidratação do cimento, e conseqüentemente, pelo ganho da resistência necessária.

Quando alguma falha ocorre nesse processo, algumas patologias podem surgir, principalmente, devido ao processo de retração do concreto. Porém, outros erros podem colaborar para a ocorrência de defeitos nesse processo e, então, destaca-se a má execução do procedimento de cura. As negligências nas etapas de projeto e execução propiciam um quadro de passeios públicos malconservados e que apresentam uma série de patologias, Figura 1.

Uma das patologias mais comuns no concreto são as fissuras. Os resultados da pesquisa de Xiao e Wu [20] confirmaram que problemas de construção, como a realização inadequada de juntas e suporte de base inadequado, estão entre os fatores de contribuição, em particular para fissuras longitudinais prematuras e localizadas. Enquanto a orientação da fissura em uma laje segue rigorosamente para a direção perpendicular da tensão de tração crítica induzida pela carga, a direção da tensão de tração crítica pode ser amplamente influenciada pela geometria da laje, incluindo o comprimento da laje, largura e espessura. Nesse sentido cita-se a subida de finos através de juntas e fissuras, a bombagem.

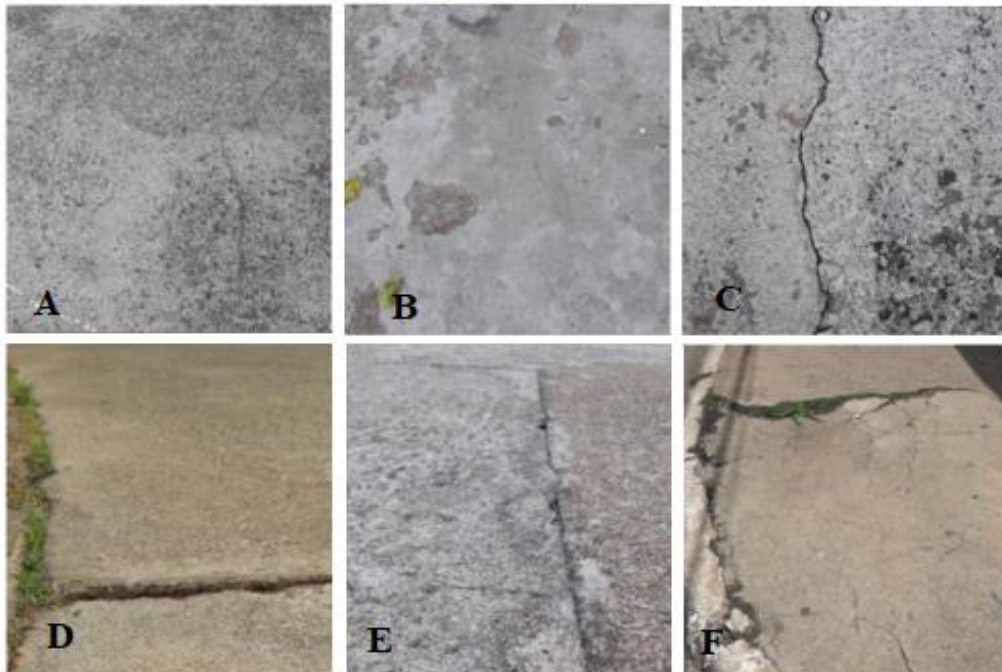


Figura 1: Principais patologias encontradas em calçadas de concreto. A) desgaste superficial; B) delaminação; C) fissuras; D) escalonamento; E) esborcinamento; F) recalques.

O desgaste superficial é o deslocamento da argamassa superficial com a presença visual dos agregados. A delaminação apresenta-se com o destacamento da lâmina superficial e perda de resistência. As fissuras, muito comuns no concreto, são falhas que podem se apresentar de várias formas: diagonal, mapa, longitudinal, transversal ou canto. Escalonamento é o desnível vertical entre dois lados de uma junta referente a duas placas de uma calçada. O esborcinamento é uma patologia devida a quebra de canto ou bordos das juntas, e o recalque, o afundamento do pavimento criando ondulações, geralmente por falta de compactação na camada de suporte.

O concreto é considerado durável quando desempenha as funções que lhe foram atribuídas mantendo a resistência e a utilidade esperada, durante a vida útil estimada. As deteriorações observadas em concreto, podem estar associadas a fatores mecânicos onde o destaque é para vibrações e movimentação de líquidos; físicos como as variações de temperatura; biológicos são os microorganismos; ou químicos os relacionados com a presença de substância químicas provenientes de diferentes ambientes solo, água e atmosfera [27].

Sendo assim entendendo a importância do passeio público para a sociedade é necessário compreender as causas que impedem que o sistema desempenhe suas funções adequadamente, possibilitar aprimoramento de projetos visando especificações de materiais e processos construtivos mais adequados, e, assim, contribuir para transformar espaços públicos em ambientes mais seguros e agradáveis, alcançando os preceitos normativos de pavimento firme, regular e antiderrapante.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi do tipo quali-quantitativo, com estratégia de levantamento de dados em campo. A pesquisa bibliográfica permitiu um conhecimento aprofundado sobre o tema e facilitou a aplicação da metodologia de verificação em campo das patologias. O método empregado, de acordo com Lichtensten [5], Figura 2, e a influência de conceitos como desempenho nas edificações permitiram organizar e ampliar conhecimentos nesta área com o objetivo de conhecer melhor as falhas existentes visto o grande número de edificações.

Para realizar o levantamento de informações foi utilizado a observação visual, a documentação fotográfica, e a avaliação do meio ambiente para identificar as amostras. O diagnóstico de casos de patologia nas construções pode ser definido como a identificação da natureza, da causa e da origem dos desgastes. Para diagnosticar, é preciso reunir o maior número de informações e depois separar o essencial do acessório [28].

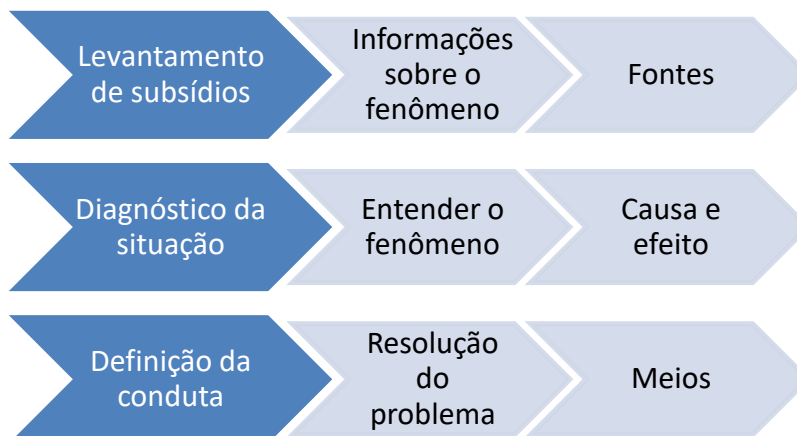


Figura 2: Procedimentos gerais para diagnóstico – adaptado (Lichteinten, 1986)

Este registro constitui-se na fonte mais segura para obtenção de dados estatísticos sobre as manifestações e incidências dos problemas patológicos, assim como da eficiência dos diversos tipos de tratamento, afirma Lichtensten [5]. Entendido o processo, escolhido o local para levantamento de dados e selecionadas as amostras passou-se para a observação em campo. A cidade de Águas Claras, no Distrito Federal, foi escolhida para realização da pesquisa por ser uma cidade nova, com aproximadamente 20 anos de existência, e considerada com graves problemas de infraestrutura devido ao crescimento com pouco planejamento. Dividida em quatro regiões de análise, com base na influência do alto índice de pedestres, e em cada uma foram selecionadas um número de amostras de calçadas a serem avaliadas, Figura 3.



Figura 3: Apresentação das regiões de levantamento de dados, Águas Claras (Google, 2018)

Com o intuito de realizar o levantamento das patologias e quantificá-las foi criada uma planilha *Checklist* para facilitar e conduzir as anotações. Num primeiro momento são feitas as identificações do local (região de análise, endereço), no momento seguinte as calçadas são divididas em placas ou áreas e, então, quantificadas as patologias por presença na placa ou área, e feito os registros fotográficos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados obtidos foi feita de acordo com as etapas da pesquisa desenvolvida buscando melhor conhecer e avaliar as patologias dos pavimentos em concreto simples moldado *in loco*.

3.1 Das Regiões Avaliadas

A forma como a cidade foi subdividida, em quatro regiões para levantamento em campo, é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Características geral das regiões delimitadas

| REGIÃO | ÁREA (m ²) | TOTAL DE LOTES | EDIFICAÇÕES |
|--------|------------------------|----------------|-------------|
| 01 | 136.000 | 42 | 16 |
| 02 | 252.500 | 61 | 14 |
| 03 | 155.000 | 57 | 24 |
| 04 | 130.000 | 39 | 18 |

O método “*walkthrough*”, que é a caminhada exploratória com a finalidade de identificar e delimitar os locais de amostra, auxiliou esta etapa. As calçadas analisadas foram identificadas pelas edificações as quais fazem parte, ressaltando que uma amostra pode pertencer a mais de um lote. Os locais concentram-se entre as principais avenidas da cidade, e estão próximos às estações do metrô o que desenha um cenário de grande fluxo de pedestres, justificando as escolhas realizadas.

3.2 Das patologias

Na construção civil pode-se atribuir patologia aos estudos dos danos ocorridos em edificações. Essas patologias podem se manifestar de diversas formas. Como todo elemento de concreto as fissuras estão entre as anomalias mais presentes, mesmo quando se trata de pavimentos rígidos em concreto simples moldado *in loco*. Os resultados deste trabalho apontam para essa perspectiva, Figura 4.

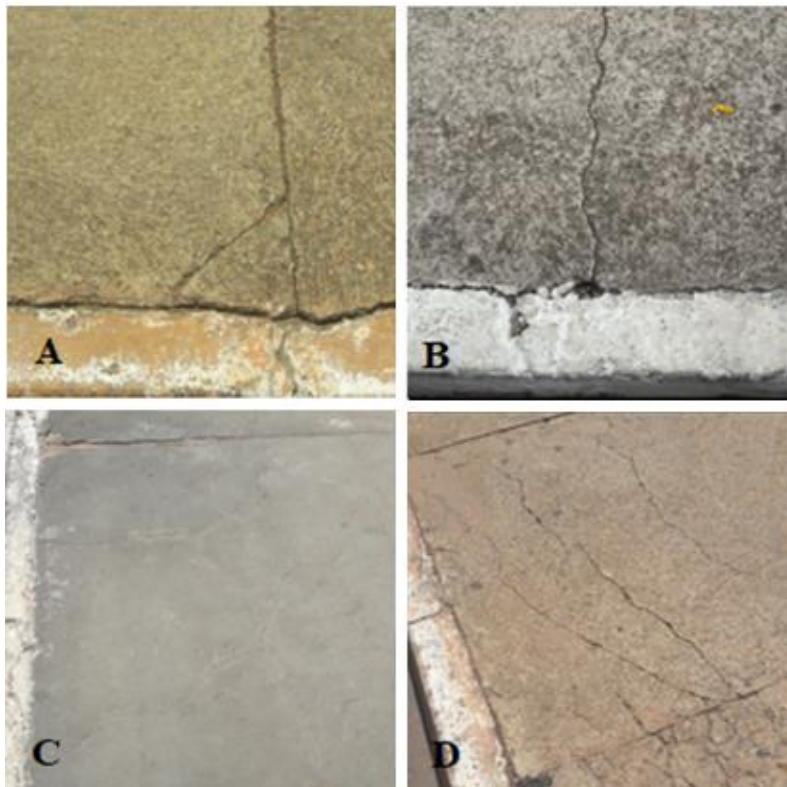


Figura 4: Tipos mais frequentes de fissuras em pavimentos rígidos. A) canto; B) transversal; C) mapa; D) longitudinal.

A pesquisa apresenta resultados que vão de encontro a outras pesquisas como Bascato *et al.* [29]. Para as calçadas de concreto as fissuras apresentam-se entre as manifestações mais frequentes, juntamente com o desgaste superficial e o esborcinamento de juntas, Figura 5.



Figura 5: Desgaste superficial e esborcinamento de junta, amostra Região 02

As avaliações realizadas para cada região apresentaram um resultado geral que pode ser observado na Figura 6. Cada região é formada por um grupo de amostras identificadas pelos endereços de suas respectivas edificações, facilitando assim um possível retorno para novas avaliações. Todas as ocorrências foram contabilizadas e ranqueadas.

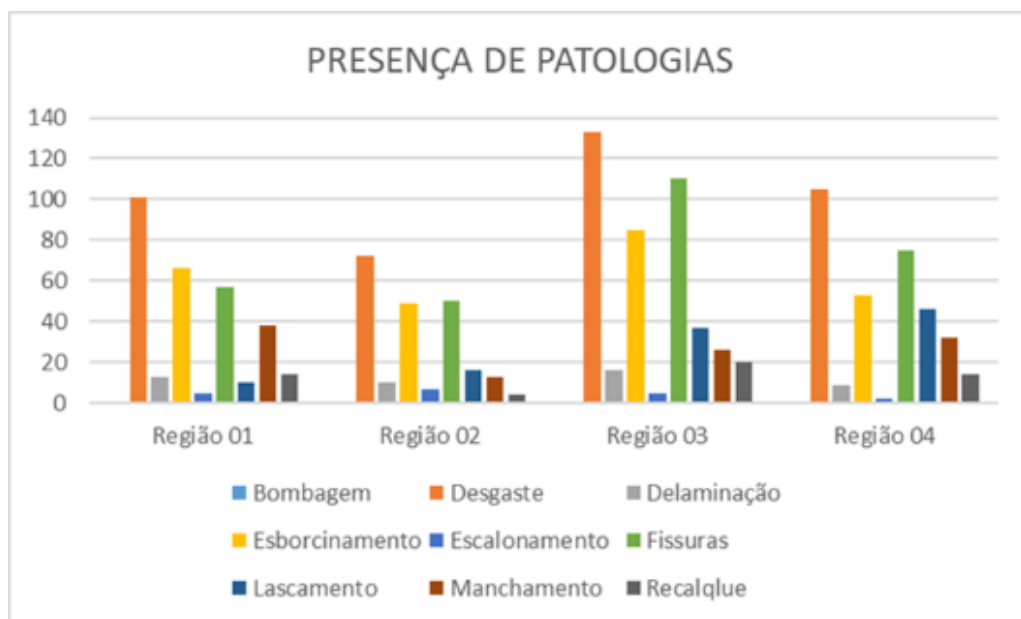


Figura 6: Principais patologias identificadas, separadas por região

A Figura 7 apresenta um gráfico que resume a presença das patologias em calçadas de concreto e que pode dar uma visão de que as calçadas como os demais pisos em concreto apresentam problemas muito parecidos, mas que o estado de degradação das calçadas pode ser o resultado de negligências quanto a concepção, execução e manutenção preventiva.

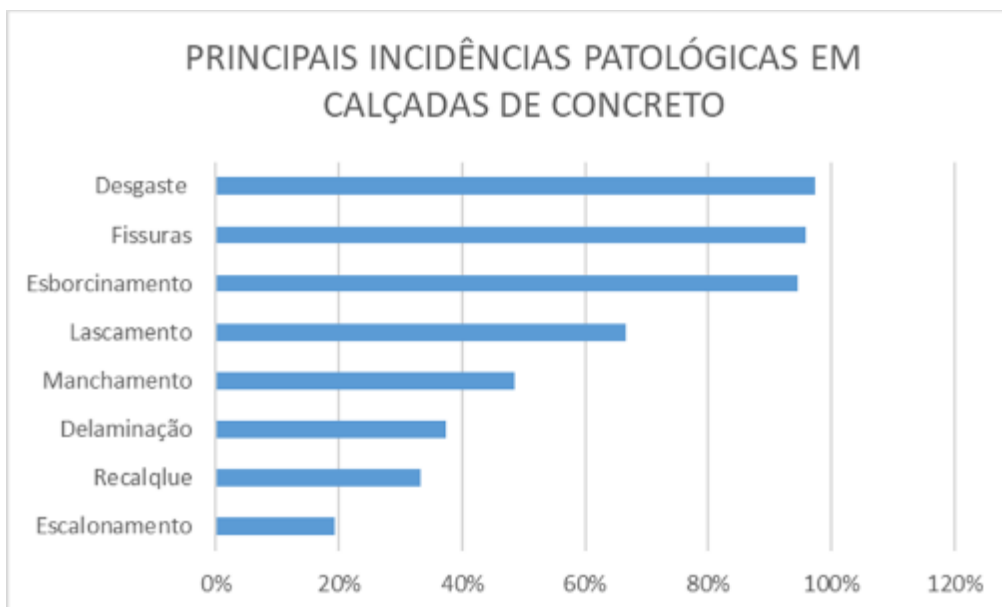


Figura 7: Principais manifestações patológicas verificadas em passeios públicos.

A análise pontual por região e a análise global mostram concordâncias nos resultados. As manifestações do tipo desgaste superficial, fissuras e esborcinamento em qualquer das situações, são os três principais problemas encontrados. Sua evolução pode gerar calçadas inadequadas para o trânsito de pedestres, em qualquer situação física, Figura 8.



Figura 8: Calçada degradada, amostra região 04.

Através de observações realizadas durante o desenvolvimento da pesquisa pôde-se correlacionar, no caso do desgaste superficial, a verificação da qualidade dos materiais utilizado, ao processo executivo e, principalmente, ao controle de cura. Para as fissuras a preocupação deverá estar voltada para os procedimentos de cura e o dimensionamento correto da espessura da camada, evitando retrações hidráulicas. Para evitar o esborcinamento atenção ao projeto e ao dimensionamento das juntas. Importe ressaltar a compactação do solo de suporte pois é responsável pelo recalques do pavimento. Neste estudo estão presentes em mais de 30% das manifestações apresentadas, e sua evolução pode provocar o aparecimentos de fissuras. A negligência para com as manutenções preventivas leva a estados graves de degradação.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados pode-se concluir que as patologias encontradas nas calçadas executadas em concreto simples moldadas *in loco* são responsáveis por prejudicar a sua funcionalidade, limitando ou impedindo à circulação de pessoas de diferentes idades e condições físicas. O caminhar, neste caso, torna-se uma tarefa complicada, principalmente,

se houver alguma restrição locomotora.

Este trabalho destaca o desgaste superficial, as fissuras e o esborcinamento de juntas como as principais patologias encontrados na amostra pesquisada. A origem desses problemas está ligada à qualidade dos projetos, aos procedimentos executivos adotados, a seleção e controle dos materiais empregados na produção, que irá impactar diretamente na resistência do concreto e, conseqüentemente, na sua durabilidade.

A observação das patologias encontradas leva ao entendimento de que o emprego de processos racionalizados associado ao uso do conhecimento técnico na construção de calçadas, resultam em redução de perdas e melhoria do desempenho. A negligência neste caso, implica no surgimento de patologias e na redução da durabilidade.

Por fim, percebe-se que em um mundo inclusivo, onde propiciar a acessibilidade através de uma garantia legal do direito de ir e vir, as calçadas têm um papel importante, mas não têm recebido a devida importância. Sendo assim, projetos melhores, materiais de qualidade, processos executivos padronizados precisam de mais comprometimento profissional, pois as calçadas são um elemento estrutural construído para uma longa durabilidade. Outro ponto importante é que as calçadas não estão cumprindo seu papel de desenhar as cidades e, esteticamente, permitir um ambiente seguro e agradável.

BIBLIOGRAFIA

- [1] LI, L.; REN, H.; ZHAO, S.; DUAN, Z.; ZHANG, Y.; ZHANG, A.. *Two dimensional accessibility analysis of metro stations in Xi'an, China*. Transportation Research Part A. Elsevier, 2017.
- [2] ISAIA, G. C., HELENE, P., ANDRADE, T., “Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais”, IBRACON, 2010.
- [3] NEVES, Ana Paula Veloso. *Avaliação da Construtibilidade em Edifícios do Ensino Superior*. Dissertação de mestrado. Universidade de Aveiro. Portugal, 2012.
- [4] DEL ZOTTO, A., “Concrete Damage in Field Conditions and Protective Sealer and Coating Systems”, Multidisciplinary Digital Publishing Institut (MDPI). Toronto, Canadá, 2017.
- [5] LICHTENSTEIN, N. B., Boletim Técnico 06/86: Patologia das Construções. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil 1986.
- [6] CHENG, Yung-Hsiang; CHEN, Ssu-Yun. *Perceived accessibility, mobility, and connectivity of public transportation systems*. Transportation Research Part A. Elsevier, 2015.
- [7] UNIVERSITY COLLEGE OF LONDON (UCL). *Street Mobility Project – Walkability Models*. Londres, 2017.
- [8] FARIA, Mariana Ribeiro. *Vibração Transmitida a Cadeirantes através do deslocamento sobre determinados tipos de revestimentos de calçadas*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2015.
- [9] CAMBRA, Paulo. *Pedestrian Accessibility and Attractiveness Indicators for Walkability Assessment*. Universidade técnica de Lisboa – Departamento de engenharia civil e arquitetura. Lisboa, 2012.
- [10] VILLAROUCO, Vilma. *Desenho Universal: Caminhos da Acessibilidade no Brasil*. Revista USP. Editora Annablume. 2010.
- [11] MIOTTI, Luiz Antônio. *A Engenharia Civil como instrumento para a acessibilidade em ambientes construídos e a realidade de calçadas e passeios urbanos*. Revista Eletrônica de Engenharia Civil – REEC, Número 4, volume 1, 2012.
- [12] CAVALARO, Juliana; DE ANGELIS, Bruno L. D.; LEMOS, Cyntia. *Nível de Serviço e Qualidade das Calçadas*. II Simpósio de Estudos Urbanos – SEURB, 2013.
- [13] BRASIL, Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L10098.htm. Acesso em 05 de junho de 2022.

- [14] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 9050:2015. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, ABNT,2020.
- [15] MALATESTA, Maria Ermelinda Brosch. Andar a pé: um modo de transporte para a cidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU/USP), 2007.
- [16] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 6118:2004. Projeto de Estruturas de concreto – procedimentos. ABNT, 2004.
- [17] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 15575 – Parte 01. Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- [18] CARTER, Tim. *How to repair a crumbling concrete sidewalk*. The Washington Post, EUA, 2016.
- [19] SANTOS, D. G., CARVALHO, P. M., CARVALHO, E. M., FERREIRA, L. I. M., VIANA, M. R., Desempenho de edificações residenciais: projetistas e empresas construtoras. XVI Encontro Nacional do Ambiente Construído – ENTAC. São Paulo, 2016.
- [20] XIAO, D. X.; WU, Z.. Longitudinal cracking of jointed plain concrete pavements in Louisiana: Field investigation and numerical simulation. International Journal of Pavement Research and Technology. EUA, 2018.
- [21] RODRIGUES, *Conceção de pavimentos rígidos*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Portugal, 2011.
- [22] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 12255:1990. Execução e utilização de passeios públicos, ABNT, 1990.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM (ABESC). Como fazer uma calçada de concreto. www.abesc.org.br. Visualização em 05 de junho de 2022.
- [25] CZARNECKI, B., POON, B.. *Concrete Sidewalk Design Analysis and Optimization for Improved Life Cycle and Sustainability*. Conference of the Transportation Association of Canada, TAC 2017.
- [26] FRIZZO, B.T. Influência do teor e da finura de pozolanas na permeabilidade ao oxigênio na absorção capilar do concreto, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Santa Maria, RS, Brasil, 2001.
- [27] MIOTTO, D., Estudo de caso de patologias observadas em edificação escolar estadual no município de Pato Branco - PR. Especialização em Construção de Obras Públicas. Universidade Federal do Paraná - UFPR. Paraná, PA, Brasil 2010.
- [28] VIEIRA, M. A., Patologias Construtivas: Conceito, Origens e Método de Tratamento. Revista on-line IPOG, Especialize, 2016.
- [29] BASCATO, R., BRITO, L., NUNES, L. E. A., “Pavimentação Rígida: ações para prevenção de patologias prematuras na execução da obra de duplicação da BR-101/AL”. 43ª RAPv - Reunião Anual de Pavimentação/ 17º ENACOR, Maceió, 2014.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida Útil

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A EVOLUÇÃO DA DEGRADAÇÃO: INICIAÇÃO E PROPAGAÇÃO

SOUZA, Ana Luiza Rocha de¹; Bauer, Elton²;

¹ Universidade de Brasília - UnB, Brasília, Brasil, luiza31souza@gmail.com, 0000-0002-1488-1203

² Universidade de Brasília - UnB, Brasília, Brasil, elbauerlem@gmail.com, 0000-0003-4559-874X

RESUMO

As fachadas são elementos importantes do edifício e contribuem significativamente para o seu desempenho em serviço, tendo um papel fundamental nas condições higrótérmicas interiores, influenciando no conforto dos usuários. O estudo aprofundado do desempenho em serviço das fachadas é complexo devido à grande variabilidade do desempenho durante o ciclo de vida do edifício. Além da variabilidade do desempenho, os revestimentos utilizados podem ser de materiais distintos, executados por meio de técnicas construtivas específicas, com projetos singulares. Independentemente do tipo, os revestimentos estão sujeitos a processo de degradação é complexo devido à ação sinérgica entre os agentes de degradação que influenciam nos mecanismos de degradação. O processo de degradação se inicia e se propaga de formas e intensidades diferentes. Entender claramente o comportamento das duas fases pode auxiliar os projetistas, proprietários e usuários a evitar anomalias nas fachadas e atuar de forma a minimizar os danos e consequências. O trabalho desenvolvido tem por objetivo elencar estudos relacionados à evolução da degradação e como ocorre a sua iniciação e propagação, por meio de um levantamento bibliográfico. É observado em diversos estudos, um comportamento específico da degradação em fases diferentes para diversos materiais e sistemas, embora estudos sobre a degradação em elementos de fachadas é algo recente e pouco explorado.

Palavras-chave: degradação; evolução; iniciação; propagação.

ABSTRACT

The facades are important elements of the building and contribute significantly to its performance in service, playing a fundamental role in the interior hygrothermal conditions, influencing the comfort of users. The in-depth study of the in-service performance of facades is complex due to the great variability of performance during the life cycle of the building. In addition to the variability of performance, the coatings used can be made of different materials, executed using specific construction techniques, with unique projects. Regardless of the type, coatings are subject to a complex degradation process due to the synergistic action between the degradation agents that influence the degradation mechanisms. The degradation process begins and spreads in different ways and intensities. Clearly understanding the behavior of the two phases can help designers, owners and users to avoid anomalies in facades and act in a way to minimize data and consequences. The work developed aims to list studies related to the evolution of degradation and how its initiation and propagation occurs, through a bibliographic survey. It is observed in several studies, a specific behavior of the degradation in different phases for different materials and systems, although studies on the degradation in elements of facades is something recent and little explored.

Keywords: degradation; evolution; initiation; propagation.

1. INTRODUÇÃO

As fachadas são elementos importantes do edifício e contribuem significativamente para o seu desempenho em serviço, tendo um papel fundamental nas condições higrotérmicas interiores, influenciando no conforto dos usuários [1, 2]. Além disso, tem influência na segurança e na estética de um edifício [3]. O estudo aprofundado do desempenho em serviço das fachadas é complexo devido à grande variabilidade do desempenho durante o ciclo de vida do edifício. Essa variabilidade está associada a vários fatores destacando-se as decisões de projeto, processos construtivos e características dos materiais utilizados [4].

Os revestimentos utilizados em fachadas constituem a barreira mais externa para os diferentes tipos de solicitações causadas por esforços externos e internos, dessa forma é o sistema mais exposto à ação dos agentes de degradação, portanto mais sujeitos a ocorrência de anomalias. Os agentes de degradação alteram de diversas formas e intensidades as propriedades dos materiais e dos elementos. A radiação solar, a temperatura, a chuva dirigida e o vento podem ser considerados como os principais agentes responsáveis pela degradação [5-8].

O processo de degradação é complexo devido à ação sinérgica entre os agentes de degradação que influenciam nos mecanismos de degradação. A ação dos agentes e mecanismos depende diretamente das características do projeto e da construção, em que a especificação de materiais e sistemas deve ser adequadamente definida para se alcançar o desempenho e a vida útil [9-11]. O processo de degradação se inicia e se propaga de formas e intensidades diferentes dependendo diretamente do tipo de material utilizado no revestimento de fachadas. A compreensão das características inerentes ao processo de degradação e detalhes de como ela se inicia e se desenvolvem ao longo do tempo podem auxiliar os projetistas, proprietários e usuários a evitar anomalias nas fachadas e atuar de forma a minimizar os danos e consequências [12, 13]. Assim, o presente estudo tem o objetivo de apresentar uma revisão da literatura sobre as fases da evolução da degradação, buscando compreender através de estudos já realizados o que de fato caracteriza a sua iniciação e propagação.

2. METODOLOGIA

Para obter o estado da arte em relação aos estudos que abordam a degradação e as particularidades inerentes ao seu aparecimento e desenvolvimento, foram realizadas pesquisas na base de dados Web of Science, utilizando palavras-chave relacionadas à temática de estudo, buscando pelos termos nos campos título, resumo e palavras-chave. Além disso, foram buscados trabalhos citados pelos artigos retornados nas pesquisas e consultados os estudos desenvolvidos por pesquisadores que focam em investigações sobre a degradação.

3. DEGRADAÇÃO

3.1 Degradação de Fachadas

A degradação pode ser definida pela ISO 15686-8 [14] define como o processo inerente à ação de um agente de degradação ou um conjunto deles, capaz de provocar mudanças nas propriedades de um material, sistema ou componente. As mudanças nas propriedades podem ser afetadas de forma física, mecânica ou elétrica. De forma geral, a degradação pode ser entendida como a perda de desempenho de um edifício e de seus sistemas devido à atuação de agentes que afetam negativamente o desempenho dos componentes e materiais do edifício e, conseqüentemente, reduzindo a vida útil [15].

Destaca-se que a degradação é o resultado de processos naturais provocando mudanças físicas, químicas e mecânicas dos sistemas e uso da edificação [16]. Estudar os processos de degradação dos edifícios, de seus elementos e componentes, compreendendo sua ocorrência, causas e comportamento ao longo do tempo, ainda é um desafio para diversos pesquisadores e núcleos de estudos espalhados pelo mundo. A dificuldade existente pode ser atribuída à falta de dados de qualidade e em quantidade suficiente ou em outros casos, há dificuldade de obtenção [13].

3.2 Agentes e Mecanismos de Degradação

As fachadas constituem o elemento de construção mais exposto à ação dos agentes externos. Esses agentes são fatores que alteram os mecanismos, podendo ter diversas procedências, dentre os quais se destacam os de origem climática, tais como radiação, temperatura e chuva dirigida [17]. Os aspectos relacionados à degradação das fachadas são processos complexos, principalmente pelo grande número de agentes e fatores envolvidos [18].

Em função da elevada e contínua exposição à ação dos agentes de degradação, os revestimentos das fachadas são mais suscetíveis à ocorrência de anomalias, ocorrendo assim a redução de seu desempenho. A degradação, além de depender das condições de exposição, também depende do nível de qualidade de projeto, manutenções e características do edifício, de forma que a mesma contribui para a diminuição da vida útil [19]. Determinados materiais podem ser resistentes a certos tipos de agentes, e estarem inseridos em meios onde recebem outras ações não previstas inicialmente que o degradam. Opções de projeto e técnicas construtivas são os principais definidores dos mecanismos atuantes sobre os sistemas e componentes dos edifícios.

A evolução das anomalias e da degradação depende principalmente de três fatores: ação, duração da ação e sensibilidade à ação [20]. Em relação à ação, é essencial conhecer quais são os agentes e mecanismos responsáveis pela degradação, que podem ser dentre outros, mecânicos e térmicos [21]. No que diz respeito à duração da ação, pode ser do tipo permanente como o peso próprio; cíclica como deformações térmicas, umidificação e secagem ou ações do usuário; ou do tipo pontual quando se tem cargas acidentais. A sensibilidade à ação da degradação está relacionada ao modo como os mecanismos têm origem pela ação dos agentes. A Figura 1 mostra cada um destes fatores que condicionam a evolução das anomalias no processo de degradação.

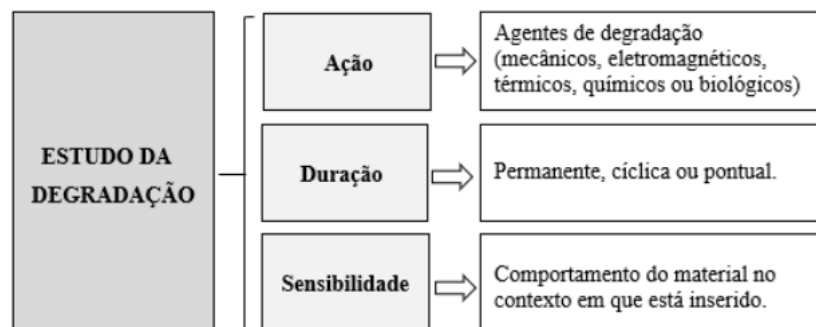


Figura 1 - Fatores condicionantes da evolução das anomalias e da degradação [20, adaptado].

Os agentes de degradação são fatores externos que afetam adversamente o desempenho dos materiais e componentes dos edifícios, incluindo fatores climáticos, biológicos, mecânicos, incompatibilidades e fatores de uso [17, 21]. A atuação desses agentes pode ser de forma isolada, quando há apenas um agente atuando, ou conjunta, quando ocorrem dois ou mais agentes simultaneamente, sendo a última situação mais complexa e recorrente [22]. A associação dos agentes chuva e vento, por exemplo, resultam na chuva dirigida. Tal associação é capaz de fazer com que a incidência de chuva seja característica em cada orientação de fachada, já que cada orientação proporciona um microclima específico.

Os mecanismos de degradação, representam a reação dos componentes de um edifício sob a ação dos agentes responsáveis pela degradação. Mecanismo de degradação pode ser definido como uma sequência de modificações físicas e/ou químicas que levam a alterações prejudiciais em uma ou mais propriedades de um elemento ou material quando exposto a um ou mais fatores de degradação [17].

Por meio dos mecanismos é possível se explicar as alterações químicas, físicas, biológicas e mecânicas dos componentes que exercem influência direta nas alterações de propriedades e características. Um mecanismo pode envolver mais de uma alteração de propriedade ou mesmo agente de degradação, o que aumenta a sua complexidade e dificuldade sua identificação [23, 15]. Os mecanismos de degradação podem ser capazes de sofrer alteração com o passar do tempo e agir de forma sinérgica, atuando de diferentes formas, associadas ou não, simultâneas ou sequenciais [22]. A sinergia dos mecanismos é considerada um fator responsável por aumento de gravidade e propagação [24].

A intensidade dos agentes de degradação tem dependência relacionada com as variações climáticas, enquanto os mecanismos dependem do grau de exposição da fachada aos agentes de degradação e das características e propriedades dos elementos e materiais utilizados. Além disso, podem ser influenciados pelo projeto, técnicas construtivas e fatores atenuantes ou agravantes aos quais determinada fachada pode estar exposta. Dentre os diversos fatores condicionantes de degradação, destaca-se como os mais relevantes neste processo o grau de proteção e orientação das fachadas. Desta forma, a localização geográfica e as condições de contorno do edifício, bem como o microclima se tornam fatores agravantes ou atenuantes dos mecanismos de degradação.

A seleção de materiais e sistemas construtivos, assim como do método de construção ou outras opções gerais de projeto e execução também podem ser determinantes para os mecanismos de degradação. Já as anomalias, consideradas uma resposta do edifício à ação dos mecanismos, ocorrem relacionadas às características dos materiais e se evidenciam através de sintomas nas fachadas [10].

3.3 Mensuração da Degradação

Estudar as fachadas é fundamental para se obter um desempenho adequado e garantir a satisfação dos moradores e usuários. As fachadas e as coberturas são os elementos da edificação que apresentam mais patologias tendo em vistas que estão mais expostas aos intemperismos. O processo de degradação está relacionado com a perda de desempenho em serviço. Embora a relação destas não seja considerada uma relação linear por depender de diversos fatores, a análise do desempenho em serviço recorre, com maior frequência, a modelos de degradação em vez de modelos de desempenho [23]. A degradação pode ser entendida como a perda de desempenho, isto é, sendo responsável pela falta de atendimento de requisitos e critérios, tais como os relacionados à segurança no uso, estanqueidade, desempenho térmico, durabilidade e manutenibilidade.

A evolução da degradação normalmente é representada por índices de degradação ao longo do tempo, dando origem à curva de degradação (índice de degradação x tempo) para a determinação da vida útil. Essa representação da curva de degradação reflete a velocidade com que os sistemas perdem sua capacidade funcional, assim deixando de atender aos requisitos exigidos [25, 18, 26]. A quantificação da degradação é uma forma indireta de avaliar o desempenho dos edifícios. Todavia, essa mensuração é uma tarefa complexa, desde a quantificação da extensão das anomalias até a sua tradução em um índice [10].

Para a realização do estudo da degradação vem sendo utilizado pelos pesquisadores do Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília (LEM-UnB) o Método de Mensuração de Degradação (MMD), como abordado nos estudos de Silva [26]; Souza [16, 27] e Piazzarollo [28], que visa medir a degradação das fachadas dos edifícios. Para a aplicação do método é necessário a realização de uma inspeção, seguido pelo mapeamento e a quantificação da degradação. Para medir a quantificação da degradação a fachada é dividida em malha com dimensão de 0,50 m x 0,50 m e com isso é realizado o mapeamento.

Da mesma forma, aplica-se o fator de danos para a quantificação da degradação, que trata-se de um índice que indica o grau de ocorrência de patologias e com isso é possível estabelecer um parâmetro inicial da degradação. O FD é obtido a partir do somatório das áreas danificadas, dividido pela área total da fachada, como apresentado na equação 1.

$$FD = \frac{\sum A_{d(n)}}{A_t} \quad (1)$$

Também é calculado o Fator Geral de Danos (FGD), como apresentado na equação 2, que analisa a degradação da fachada ponderando os danos. Nesse caso são utilizados para a realização do cálculo dois pesos, um que leva em consideração as condições de danos e outro que analisa as importâncias relativas das patologias.

$$FGD = \frac{\sum A_{d(n)} \times k_n \times k_{cn}}{\sum k_{máx} \times A_t} \quad (2)$$

$A_{d(n)}$: a área danificada por uma patologia n (m^2);

K_n : constante de ponderação das patologias, em função do nível de condição;

k_{cn} : constante de ponderação da importância relativa das patologias detectadas;

$\Sigma k_{máx}$: somatório das constantes de ponderação equivalente ao nível da pior condição;

A_f : Área total da amostra de fachada (m^2).

4. EVOLUÇÃO DA DEGRADAÇÃO

4.1 Iniciação e Propagação da Degradação

A degradação evolui de forma diferenciada ao longo do tempo, além de ser singular a cada tipo de material. A ISO 15686- [21] elaborada para atender necessidades e lacunas voltadas para a avaliação de desempenho da vida útil, apresenta um exemplo de previsão de vida útil e planejamento de manutenção para a estrutura de concreto da Olimpíada Torre em Munique. Em tal exemplificação através da representação gráfica da Figura 2 é possível diferenciar duas fases bem distintas em que se tem a iniciação e a propagação, indicadas pelos números 1 e 2, respectivamente. Ainda na mesma representação podem ser identificados: Y - Nível de deterioração; X - Tempo de exposição (anos); 3 - Colapso da estrutura através de falha de vínculo ou redução da seção transversal do reforço do rolamento de carga; 4 – Fragmentação da cobertura de concreto; 5 - Formação de rachaduras; 6 - Deterioração reconhecível através de métodos de medição não destrutivos; 7 - Despassivação do reforço; 8 - Condição compreendida pelo monitoramento; a - Grau de desempenho.

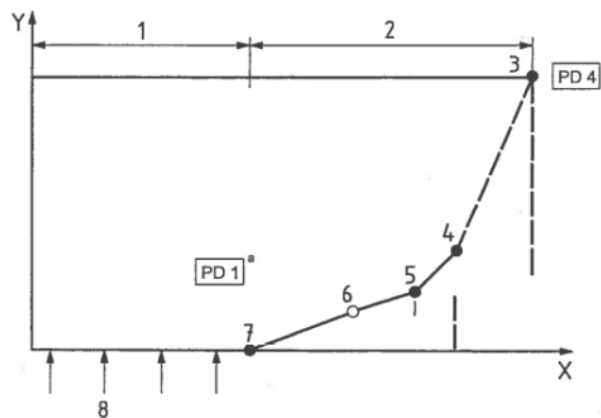


Figura 2 - Níveis de deterioramento do concreto [21].

Para estruturas de concreto armado, Tuutti [29] estabeleceu um modelo de evolução da degradação, com foco na corrosão das armaduras. Este modelo, amplamente utilizado, estabelece duas fases distintas de degradação: iniciação e propagação.

A fase de iniciação se caracteriza pela penetração dos agentes agressivos, até o momento no qual a armadura se despassiva. Essa fase depende das características de agressividade do meio ao qual a estrutura está exposta e das características dos materiais, como o tipo de cimento, porosidade superficial do concreto, tipo de aço etc. Com a despassivação da armadura, inicia-se a fase de propagação da corrosão. A iniciação da corrosão é caracterizada pelo transporte, para o interior do concreto, de agentes agressivos capazes de desencadear a corrosão, em especial o gás carbônico, responsável pela carbonatação do concreto, e os íons cloretos, responsáveis pela ruptura localizada da película passiva. Fatores que influenciam a iniciação da corrosão da matriz de concreto e as condições de interação ambiente-estrutura são aspectos essenciais na determinação de um maior ou menor tempo demandado para iniciação da corrosão [30-32].

A fase de propagação da corrosão se caracteriza pelo desenvolvimento das reações de corrosão, as quais podem ser mais ou menos rápidas em função das variáveis que controlam a cinética das reações, ou seja, em função da disponibilidade de oxigênio, da resistividade do meio, da temperatura etc. Considerando que o momento da despassivação do aço envolve alterações eletroquímicas na superfície do aço e que essas alterações demandam certo tempo para que o início da corrosão possa ocorrer de forma consistente. Nesta fase, o processo de corrosão se desenvolve com maior ou menor velocidade, dependendo da resistividade do concreto, da presença de oxigênio e das características do ambiente em termos de umidade e temperatura. Nessa fase de propagação, quando aparecem manchas de corrosão na superfície do concreto, ou ocorrem fissuras no concreto de cobrimento adjacentes à armadura, ou ainda quando há o destacamento do concreto de cobrimento,

tem-se o término da vida útil de serviço ou de utilização da estrutura [30-31, 33-34]. Na Figura 3 estão representadas graficamente as duas fases distintas da degradação especificamente para o concreto armado.



Figura 3 - Modelo de Tuutti para a corrosão de armadura [29].

Analogamente ao estudo em concreto armado proposto por Tuutti [29], Bordalo [35] estudando revestimentos cerâmicos identificou que na fase de iniciação, os fenômenos de degradação ocorrem de forma lenta e as anomalias manifestadas são pouco condicionantes, por si só, para o fim da vida útil deste tipo de revestimentos; por outro lado, é na fase de propagação que se verifica a perda de desempenho dos revestimentos que poderá resultar da sobreposição de um ou mais mecanismos de degradação que ocorrem não como um processo meramente aditivo de efeitos, mas como um sistema com entropia, de tal modo que uma determinada ação afete as outras e vice-versa.

O estudo utilizou uma escala exponencial na ponderação dos níveis de degradação propostos para os revestimentos cerâmicos aderentes, como pode ser observado na Figura 4. Por meio da escala utilizada pode-se observar claramente dois comportamentos distintos, por meio da representação da curva de relação do tipo exponencial. A partir do nível de condição 2 ocorre uma mudança brusca na inclinação da curva, podendo ser associada à diferenciação da degradação em duas fases distintas em iniciação e propagação.

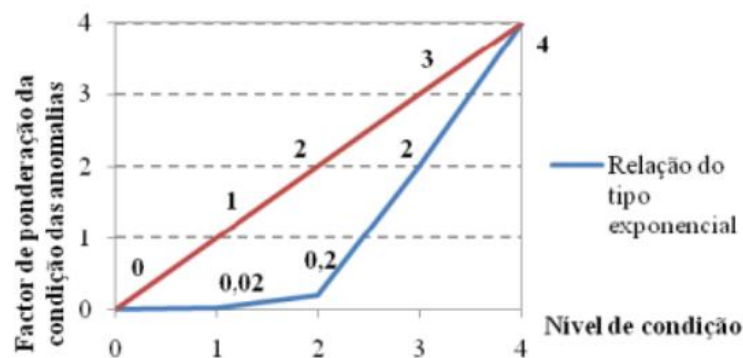


Figura 4 - Comparação entre diferentes formas de ponderação dos níveis de degradação dos revestimentos cerâmicos [35].

Piazzarollo [28] ao estudar a evolução e gravidade da degradação em diferentes zonas componentes de fachadas, concluiu que a gravidade dos defeitos varia ao longo das idades, evidenciando um comportamento diferente nas idades iniciais e mais avançadas. Com relação à gravidade da degradação, os resultados mostram que, para cada idade do edifício, as importâncias da intensidade e da frequência de ocorrência dos danos variam. Pode-se afirmar que a gravidade dos defeitos

pontuais é maior que dos generalizados, uma vez que acontecem com frequência mais elevada. Os defeitos generalizados tendem a ser mais graves nos edifícios com idades maiores, enquanto os pontuais são mais graves nas idades iniciais.

Em seus estudos em fachadas com revestimento em argamassa, Mota [10] destaca que o processo de degradação pode ser dividido em dois estágios: iniciação e propagação. Na iniciação, o desenvolvimento da deterioração é direcionado pelos mecanismos causadores das anomalias. Na propagação se tem os efeitos dos agentes de degradação modificando os mecanismos e agravando a degradação. O conjunto total de amostras apresenta uma tendência de crescimento da degradação com a idade. No entanto, esse padrão não é claramente evidenciado pois existem outros fatores, além do tempo de exposição aos agentes de degradação que influenciam os mecanismos de degradação.

A incidência de degradação nas amostras é quantificada pelo Fator de Danos (*FD*). Ao analisar a base de dados, constata-se que essencialmente todos os valores de *FD* das amostras de edifícios mais jovens estão abaixo de 0,60. Diante do exposto, é coerente investigar a degradação das amostras em função da incidência de degradação dada pelo *FD*. Essa caracterização permite um entendimento mais preciso dos fatores e mecanismos que causam a degradação. Para isso, as amostras são classificadas de acordo com intervalos de *FD*. Para a iniciação da degradação considera-se o *FD* até 0,60, enquanto a sua propagação é caracterizada por *FD* acima de 0,60 [10].

5. CONCLUSÕES

O comportamento da degradação, seja em materiais ou elementos, se dá de forma complexa e envolvendo diversos fatores que atuam com intensidades variadas ao longo do tempo. Estudos encontrados evidenciam que a degradação pode ser dividida nitidamente em duas fases: iniciação e propagação. O que pode se observar é que o processo ocorre com velocidades e intensidades diferentes, dependendo dos fatores atenuantes ou agravantes de cada fase. Conhecer como a degradação se inicia, e posteriormente como ela evolui e se propaga, é uma informação relevante para estudos da degradação de fachadas, de forma a amenizar o problema ou até mesmo evitá-lo.

A maioria dos estudos não abrange as duas fases da degradação – iniciação e propagação – e não apresentam resultados detalhados sobre as particularidades da degradação em edifícios com fachadas em cerâmica e em argamassa, comparando o comportamento da degradação em ambos os revestimentos. Considerando os estudos analisados, deve-se ficar atento aos fatores relacionados às fases de iniciação e propagação, para que fique claro e evidente quais deles representam maior ou menor influência ao longo do tempo.

AGRADECIMENTO

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro por meio de bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

- [1] BISENIECE, E.; FREIMANIS, R.; PURVINS, R.; GRAVELSINS, A.; PUMPURS, A.; BLUMBERGA, A. **Study of hygrothermal processes in external walls with internal insulation**. Environmental and Climate Technologies, v. 22, pp.22-41, 2018.
- [2] PEREIRA, C.; DE BRITO, J.; SILVESTRE, J. **Contribution of humidity to the degradation of façade claddings in current buildings**. Engineering Failure Analysis, v. 90, p.103-115, 2018.
- [3] ESTEVES, T.; FLORES-COLEN, I.; SILVA, C. **Inspection and Numerical Modeling of Cracking in Existing Nonbearing Walls**, Journal of Performance of Constructed Facilities, v. 32 (4), 2018.
- [4] FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; FREITAS, V.; HAWREEN, A. **Reliability of in-situ diagnosis in external wall renders**, Construction and Building Materials, v. 252, p. 119079, 2020.
- [5] JERNBERG, P.; LACASSE, M. A.; HAAGENRUD, S.E.; SJÖSTRÖM, C. **Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Building Materials and Components**. Joint CIB W80 / RILEM TC 140 – TSL Committee on Service Life of Building Materials and Components, CIB Report, Publication 295, 2004.

- [6] CAVALAGLI, N.; KITA, A.; CASTALDO, V. L.; PISELLO, A. L.; UBERTINI, F. **Hierarchical environmental risk mapping of material degradation in historic masonry buildings:** An integrated approach considering climate change and structural damage. *Construction and Building Materials*, 215, pp.998-1014, 2019.
- [7] DUARTE, R.; FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; HAWREEN, A. **Variability of in-situ testing in wall coating systems - Karsten tube and moisture meter techniques.** *Journal of Building Engineering*, v. 27, 2020.
- [8] GALVÃO, J.; DUARTE, R.; FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; HAWREEN, A. **Non destructive mechanical and physical in-situ testing of rendered walls under natural exposure.** *Construction and Building Materials*, v. 230, 2020.
- [9] ADDESSI, D.; GATTA, C.; MARFIA, S.; SACCO, E. **Multiscale analysis of in-plane masonry walls accounting for degradation and frictional effects.** *International Journal for Multiscale Computational Engineering*, v.18, n.2, 2020.
- [10] MOTA, L. M. **Estudo da iniciação e da propagação da degradação de fachadas com revestimento em argamassa.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2021.
- [11] FERREIRA, C. A. SILVA, J. DE BRITO, I.S. DIAS, I. FLORES-COLEN, **The impact of imperfect maintenance actions on the degradation of buildings' envelope components,** *Journal of Building Engineering*. 33, 2021.
- [12] BEASLEY, K. J. **Building façade failure risk assessment,** *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 28, n. 5. pp 1-14, 2014.
- [13] CARRETERO-AYUSO, M. J. C.E. RODRÍGUEZ-JIMÉNEZ, D. BIENVENIDO-HUERTAS, J.J. MOYANO, **Interrelations between the types of damages and their original causes in the envelope of buildings,** *Journal of Building Engineering*. 39 (2021).
- [14] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/DIS 15686-8: **Buildings - Service life planning.** Part 8: Reference service life and service-life estimation. ISO, 2008.
- [15] SANTOS, D. G. **Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- [16] SOUZA, J. S. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios,** Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB - Universidade de Brasília, 2019.
- [17] ASTM E 632-81. **Standard Practice for Developing Accelerated Tests to a Prediction of the service Life of Building Components and Materials.** Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 6p, 1996.
- [18] SHOHET, M. et al, **Deterioration patterns for maintenance management - A methodological approach.** 8th Int. Conference on Durability of Building Materials & Components, Vancouver, 1999, pp 1666-1678.
- [19] DIAS, I. S.; FLORES-COLEN, I.; SILVA, A. **Critical analysis about emerging technologies for building's façade inspection.** *Buildings*, [s. l.], v. 11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings11020053>. Acesso em: 8 out. 2021.
- [20] BAUER, E. **Novas aplicações no estudo da degradação, patologia e previsão de vida útil dos edifícios.** II Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. Anais... Belém-PA. Abril de 2016.
- [21] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 15686-2 (2012): **Buildings - Service life planning.** Part 2: Service life prediction procedures, International Organization for Standardization.
- [22] ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília.** Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, 2015.

- [23] FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; FREITAS, V. P. **Methodology for in-service performance assessment of rendering facades for predictive maintenance.** TG75, W014, W080, W083 and W086, pp. 388, 2009.
- [24] BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. **Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília,** Brasil. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.21, n.4, p.23-43, 2021.
- [25] GASPAR, P.; DE BRITO, J. **Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: a comparison between different degradation indicators.** Building and Environment, v. 43, n. 11, 2008. 1818-28 pp.
- [26] SILVA, M. N. B. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – Aplicação ao caso de Brasília/DF.** Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, 2014.
- [27] SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2016.
- [28] PIAZZAROLLO, C. B. **Estudo da evolução e da gravidade da degradação nas diferentes zonas componentes da fachada.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2019.
- [29] TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete.** Sweden: CBI, 1982. 468 p.
- [30] HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** São Paulo: PINI, 1986.
- [32] PAKKALA, T. A., KOLI, A., LAHDENSIVU, J., & PENTTI, M. **Predicted corrosion rate on outdoor exposed concrete structures.** International Journal of Building Pathology and Adaptation, 2019.
- [33] NOGAL, M., & O'CONNOR, A. **Resilience assessment of transportation networks.** Routledge Handbook of Sustainable and Resilient Infrastructure, 199, 2018.
- [34] STEWART, M., & BASTIDAS-ARTEAGA, E. **Corrosion of concrete and steel structures in a changing climate.** In Climate adaptation engineering (pp. 99–125). Elsevier, 2019.
- [35] BORDALO, R.; DE BRITO, J.; GASPAR, P. L.; SILVA, A. **Service life prediction modelling of adhesive ceramic tiling systems.** Building Research and Information. v. 39. n. 1. pp.66-78, 2011.

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida Útil

AVALIAÇÃO EM CAMPO DE ESPESSURA DE UM SISTEMA DE REVESTIMENTO POLIMÉRICO, APLICADO SOB MATERIAL ISOLANTE, EM LOCAL COM CONDIÇÃO SANITÁRIA ESPECIAL: UM ESTUDO DE CASO

OLIVEIRA, Andrielli Morais¹; MENEZES, Maressa²; RIBEIRO, Mariana J.S.³

¹UFG – Universidade Federal de Goiás. Avenida Universitária, n. 1488, Qd. 86, Lt. Área, Setor Universitário, Goiânia/GO, Brasil, 74605-220. E-mail: andriellimorais@ufg.br. orcid.org/0000-0001-8977-785X

²Impersolutions projetos, pesquisas e sistemas, São Paulo/SP, Brasil.
E-mail: maressa.menezes@impersolutions.com.br

³UFG – Universidade Federal de Goiás. Avenida Universitária, n. 1488, Qd. 86, Lt. Área, Setor Universitário, Goiânia/GO, Brasil, 74605-220. E-mail: mariana.jsribeiro@gmail.com

RESUMO

Estanqueidade nas construção civil é um tópico importante para a durabilidade e para o desempenho das edificações, sobretudo nas que estão expostas a ambientes agressivos ou ainda em ambientes especiais com exigências de condições sanitárias, temperatura e umidade controladas, como é o caso de centrais de ar-condicionado, e casa de máquinas. Nestes casos específicos, o sistema de revestimento deve atender não só o quesito estanqueidade, mas também higiene e características antibactericidas. O presente artigo é um estudo de caso e tem como objetivo apresentar a avaliação em campo da espessura de sistema de revestimento de base polimérica (emulsão de copolímero acrílico), aplicado sob sistema de isolamento térmico, em sistemas de vedações verticais em alvenaria de concreto em central de ar-condicionado de um shopping na cidade de Goiânia/GO/Brasil. Neste local, há a exigência de projeto de revestimento especial com espessura uniforme (1,4 a 1,6 mm) e sem o desenvolvimento de umidade, mofo e outros patógenos. Para tanto, uma inspeção em loco foi realizada (etapa 1) e os locais mais degradados mapeados com extração das amostras para medição de espessura (etapa 2). Como resultado, os valores médios obtidos de espessura de revestimento foram de 1,3 a 1,9 mm e não atenderam plenamente ao especificado em projeto. Ademais, houve o desenvolvimento de umidade, mofo e outros patógenos de forma repetida ao longo de 2 anos no revestimento analisado. Há a necessidade de reaplicação do revestimento para atingir a espessura mínima. Ressalta-se a necessidade de inspeção e verificações pós-obra em sistemas de revestimentos especiais com o tempo para verificação de condições do revestimento.

Palavras-chave: estanqueidade; sistema de revestimento, impermeabilização; materiais poliméricos; condição sanitária.

ABSTRACT

Watertightness in civil construction is an important topic for the durability and performance of buildings, especially in those exposed to aggressive environments or even in special environments with demands for sanitary conditions, controlled temperature and humidity, as is the case of central air-conditioned and machine's house. In these specific cases, the coating system must meet not only watertightness, but also hygiene and antibacterial characteristics. This article is a case study and it aims to present a field evaluation of the thickness of a polymer-based coating system (acrylic copolymer emulsion), applied under a thermal insulation system, in vertical sealing systems in concrete masonry in machine house and air conditioning central of a mall in the city of Goiânia/GO/Brazil. In this location, there is a requirement for special coating design with uniform thickness (1.4 to 1.6 mm) and without the development of moisture, mold and other pathogens. To this end, an on-site inspection was carried out (step 1) and the most degraded sites mapped with the extraction of samples for thickness measurement (step 2). The polymeric coating thickness results were statistically

analyzed. As a result, the average thickness obtained was 1.59 mm and met design criteria. A new paint with anti-fungal characteristics has been reapplied under the coating.

Keywords: watertightness; coating system, waterproofing; polymeric materials; sanitary condition.

1. INTRODUÇÃO

Barreiras impermeáveis e estanques são instaladas para proteger estruturas e partes de sistemas construtivos contra à ação da água na forma de vapor e líquida. Essas barreiras podem incluir membranas e mantas poliméricas e asfálticas; pastas, argamassas e concretos com polímeros e aditivos impermeabilizantes. Alguns sistemas de impermeabilização podem ser compostos pela combinação desses materiais ou ainda por mais de um material aplicado [1-4].

A nível científico, vários revestimento, materiais e produtos de impermeabilização vêm sendo desenvolvidos para melhorar a eficiência no quesito estanqueidade das construções. Assim, pesquisas recentes abrem a perspectiva para argamassas com propriedades antifúngicas, modificadas com polímeros mais ecológicos ou ainda com solventes mais “verdes” (*eco-friendly*) ou ainda a mescla de materiais com várias bases químicas, incluindo membranas de nano fibras com função resistente a radiação ultravioleta [2, 5-7].

Ao mesmo tempo, a necessidade de durabilidade e de vida útil expõe a necessidade do aprimoramento de propriedades, aplicações e perspectivas dos materiais impermeabilizantes e seu ciclo de vida [8-10]. É de conhecimento que variáveis de condição em uso/serviço ou de condição de exposição desses materiais, como temperatura, deformação, tensão; propagação e taxa de abertura de fissura de materiais e tipo de ruptura dos materiais variam com a natureza do material, do substrato e de sua aderência ao substrato [9-10]. Assim, testes de permeabilidade ao vapor, testes de correlações digitais de propagação de tensões e deformações, testes com focos na fissuras e na redução da estanqueidade são interessantes para entender os mecanismos de falhas de materiais e sistemas de impermeabilização a curto e a longo prazo [11-15]

A nível nacional, a estanqueidade, bem como a saúde, a higiene e a qualidade do ar são exigências normativas para garantia de salubridade, de segurança e de conforto aos usuários no ambiente construído [16]. Contudo, falhas na propriedade de estanqueidade e no sistema de impermeabilização podem ocasionar eflorescências, manchas de umidade e, em maior proporção, comprometer partes da edificação, diminuindo assim, a vida útil do edificação e tornando o ambiente insalubre. Em complemento, é de conhecimento que a proliferação de microrganismos, advindos de umidade podem comprometer a salubridade da construção e que muitos patógenos (micróbios, bactérias *etc*) podem ser transmitidos diretamente pelo ar. Inclusive, alguns patógenos podem causar sérios danos à vida humana e levar à morte. Assim, proteção ou revestimentos antibacterianos e antivirais podem imobilizar ou matar esses micróbios e isso pode ser uma solução de longo prazo para a segurança sanitária [17].

Limitações no processo de projetos, obstáculos no fluxo de informações, erros em diretrizes para controle de informação documentada, erros em especificações e falhas na execução das edificações são apontados como possíveis fontes de desacertos que comprometem a vida em serviço das edificações [18-21] e que oneram custos de pós obra e de manutenção [18]. Dados da literatura nacional também confirmam estes resultados e relacionam falhas do sistema de impermeabilização durante a execução como causa de problemas em ocupação e pós obra [18-19]. Um detalhe a ser refletido em uma intervenção para manutenção [22] é a severidade, complexidade, custo e prioridade relacionada ao risco, proposta pela literatura [19].

A ABNT NBR 9575 [3] e a NBR 9574 [4] tratam respectivamente de projetos e execução de sistemas de impermeabilização. No entanto, algumas premissas e boas práticas de execução são preliminares a esta etapa. A exemplo disso, podemos enumerar um conjunto de fatores a considerar na escolha dos materiais e sistemas de impermeabilização, tais como: porte e área da obra, empreendimento residencial ou comercial, condição do substrato (seco ou úmido), aplicação com aquecimento ou não, duração da execução, condições ambientais, mobilização de equipamentos, agentes de exposição e degradação, cronograma de obra, produtividade e qualificação da mão de obra local, oferta do produto e serviço de impermeabilização escolhido, logística de canteiro, tipo de revestimento e proteção da impermeabilização. Contudo, especificidades poderão ocorrer.

No que tange ao contexto tecnológico, lajes subpressão vem sendo empregadas com concretos com aditivos impermeabilizantes em várias regiões do Brasil em pisos subsolos. Especificamente no Brasil, alguns materiais para impermeabilização têm destaque, como os asfaltos, pastas e argamassas cimentícias e as resinas poliméricas, formando os principais sistemas de impermeabilização disponíveis no mercado [23]

Em alguns locais, sobretudo em empreendimentos comerciais pode haver demanda de estanqueidade e isolamento térmico, mas também de salubridade, higiene e características antibactericidas. Assim, o presente artigo tem como objetivo apresentar um estudo de caso de uma inspeção em campo realizada para verificar as condições de um revestimento polimérico com propriedades antifúngicas, aplicado na superfície de paredes de alvenaria em blocos de concreto, de um Shopping na cidade de Goiânia/GO com recorrentes problemas de manchas de umidade e possível proliferação de fungos mofo e bactérias. A espessura desse revestimento também foi avaliada “in loco”. A exigência de projeto para espessura desse revestimento polimérico é de 1,4 a 1,6 mm.

Um ponto importante da contribuição deste artigo é a apresentação de um sistema de revestimento sob isolamento térmico menos usual e a verificação de forma a contribuir de forma indireta para o acréscimo da durabilidade e do desempenho das construções. Neste contexto, locais especiais como central de sistema de ar condicionado, casa de máquinas, câmaras frigoríficas exigem aplicação de revestimentos e sistemas de revestimentos impermeáveis e estanques e a necessidade de inspeção pós aplicação e revestimentos especiais.

2. METODOLOGIA

Este artigo trata-se de um estudo de campo para avaliação de um sistema de revestimento em paredes de casa de máquinas do sistema de ar-condicionado de um empreendimento comercial, tipo shopping center na cidade de Goiânia/GO/Brasil.

A demanda ocorreu ao notar manchas em paredes, após dois anos de aplicação de um material do tipo emulsão de copolímero acrílico em paredes das casas de máquinas e central de sistema de ar-condicionado. Segundo o fabricante, o material trata-se de uma emulsão de copolímero acrílico, cargas minerais, fibras poliméricas e agentes fungicidas e bactericidas. Neste sentido, a indicação é para evitar a formação de fissuras, facilitar a higienização do ambiente e impedir manutenção da umidade em forma de vapor.

As características do material indicadas pelo fabricante é teor de sólidos máximo de 49%, teor máximo de sólidos de 0,5% de ésteres acrílicos e monômero de estireno na forma livre com temperatura em serviço de 35°C a 90°C.

Ademais, o sistema aplicado trata-se de dois tipos de argamassas fluidas com 2,50 kg/m² e 0,25 kg/m² com pH entre 8,0 a 9,0, estruturadas com dois tipos de telas com massa específica de 1,1 Kg/m² e com tempo de secagem entre 3 e 4 horas.

O estudo foi dividido em etapas (Figura 1), as quais a primeira tratará da inspeção em campo do sistema de revestimento e a medição da espessura do sistema aplicado sob alvenaria estrutural. Os locais para perfuração e extração de amostras de revestimento especial foram escolhidos de forma a representarem a casa de máquinas 1 e 2 e uma central de ar condicionado com extração de amostras entre 1,7 m e 3,5 m de altura (pé-direito). Em seis locais foram extraídas 6 amostras. O instrumento para corte foi adaptado a uma perfuratriz (Figura 2).

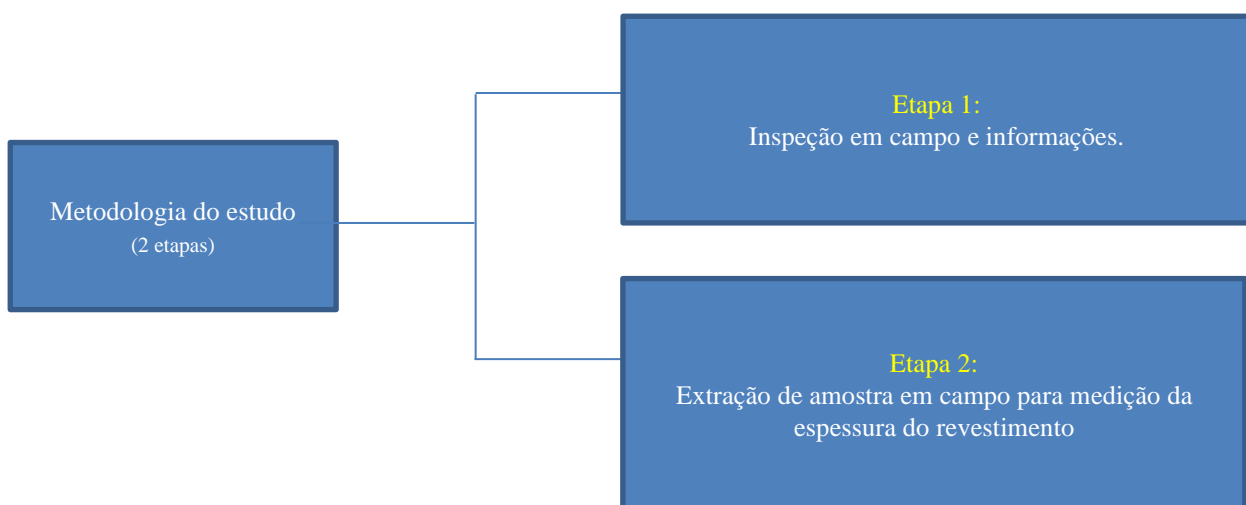


Figura 1 – Fluxograma da metodologia do estudo.



Figura 2 – Equipamento de corte utilizado para extração de amostras de revestimento.

Dados de média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação foram obtidos como resultado de 6 (seis) leituras individuais realizadas da espessura do revestimento especial em cada uma das 6 amostras extraídas. Essas espessuras foram medidas com paquímetro digital calibrado. Foi realizada análise de variância (ANOVA) com uso do *software excel*.

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

3.1 Etapa 1

Inicialmente, testes de estanqueidade na cobertura do local foram realizados e não foram identificados pontos de falhas no impermeabilização neste local.

Na impermeabilização da cobertura da casa de máquinas, conforme o projeto, foi executada impermeabilização com manta asfáltica, SBS, 3 mm, tipo III-B,EL, AA, aderida com asfalto oxidado com manta asfáltica, SBS, 4 mm, tipo III-B,EL, AA ou AP, aderida com asfalto oxidado. Sobre a camada separadora, foi aplicada uma argamassa de cimento e areia, traço 1:3 em volume, com 3 cm de espessura.

Observou-se após pesquisa que alguns fabricantes recomendam uma vida útil de pinturas antifúngicas de no máximo 2 anos, desde que manutenções, na forma de limpezas sejam realizadas de forma periódica.

As figuras apresentam as manchas de umidade e possível microrganismos nas paredes das casas de máquinas (Figura 3 a Figura 5).

3.2 Etapa 2

Para averiguação da espessura do revestimento especificado, uma perfuração de forma representativas está indicada na Figura 6. Além disso, por especificação em projeto, cada sala de máquinas foi construída de forma estanque, com paredes internas, pisos, paredes periféricas e tetos isolados termicamente. Para isso, foi utilizado um material “styrofoam modelo IB”, fabricante Dow química, com espessura de 2,54 mm (Figura 6b). Também sobre ele, foi aplicada uma camada de material para proteção mecânica e de base de resina acrílica, com componente bactericida para evitar a formação de fungos. Esse material é do fabricante fibra-flex revestimentos especiais do tipo argamassa fibra-flex - Aliterm alumínio e isolantes térmicos.



Figura 3 – Locais dentro da central de ar-condicionado com manchas de desenvolvimento de microrganismos.



Figura 4 – Locais dentro da central de ar condicionado e casa de máquinas com manchas de desenvolvimento de microrganismos e manchas de umidade.



Figura 5 – Locais dentro da central de ar condicionado com manchas de desenvolvimento de microrganismos e manchas de umidade.

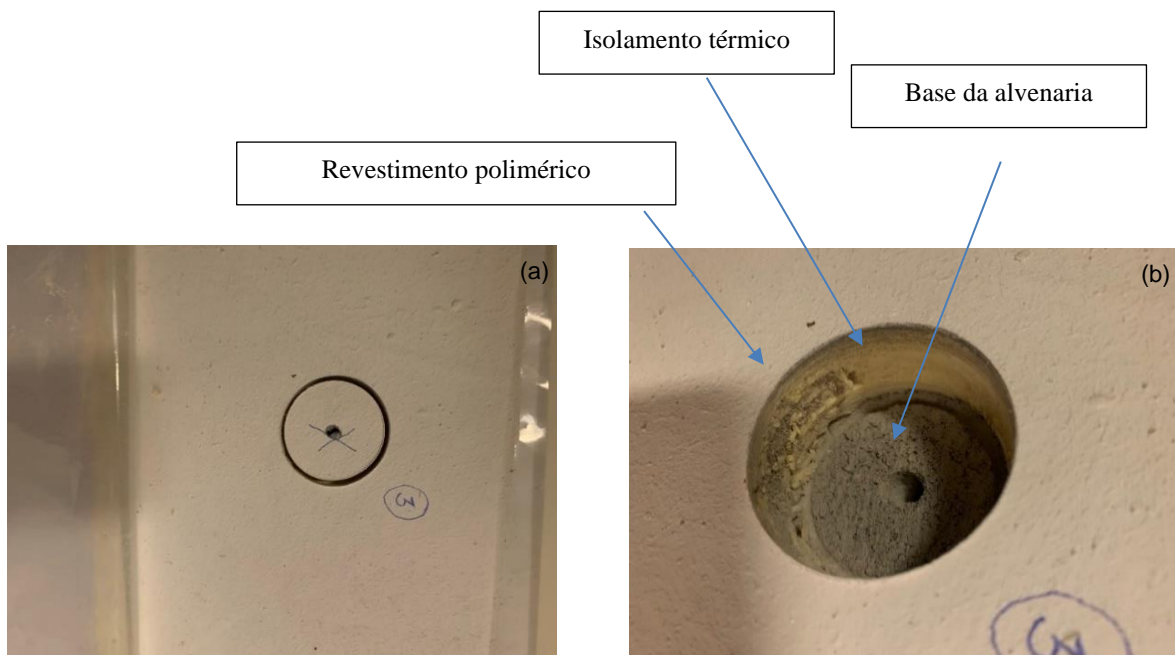


Figura 6 – a) indicação de local para perfuração e extração e (b) o mesmo local após perfuração.

A Figura 7 apresentam as amostras de cada local de extração do revestimento extraído.



Figura 7 – Amostras de revestimento 1: (a) amostra retirada pela perfuração (direita), (b) vista da amostra de revestimento retirada, (b) incluindo o isolamento aplicado (centro) e (c) lateral (espessura) do revestimento (direita).

A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam, respectivamente, um resumo da espessura dos revestimentos obtidos para cada ponto de extração das amostras (Figura 8) e um resumo geral de todos os dados obtidos.

Tabela 1 - Resumo de dados obtidos por cada ponto de extração das amostras de revestimento.

| Informação | | Espessura do revestimento (mm) nos pontos * | | | | | |
|--|-----------------------------|---|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Número de repetições de leitura | Repetição 1 | 1,20 | 1,57 | 1,75 | 1,01 | 1,51 | 1,15 |
| | Repetição 2 | 1,41 | 1,63 | 1,78 | 1,19 | 1,56 | 1,15 |
| | Repetição 3 | 1,58 | 1,65 | 1,94 | 1,27 | 1,66 | 1,21 |
| | Repetição 4 | 1,69 | 1,75 | 1,99 | 1,34 | 1,87 | 1,26 |
| | Repetição 5 | 1,77 | 1,94 | 2,04 | 1,35 | 1,92 | 1,33 |
| | Repetição 6 | 1,73 | 1,97 | 2,11 | 1,53 | 1,99 | 1,39 |
| De cada ponto | Média (mm) | 1,56 | 1,75 | 1,94 | 1,28 | 1,75 | 1,25 |
| | Desvio padrão (mm) | 0,22 | 0,17 | 0,14 | 0,17 | 0,20 | 0,10 |
| | Coeficiente de variação (%) | 14 | 10 | 7 | 14 | 11 | 8 |
| | Valor mínimo (mm) | 1,20 | 1,57 | 1,75 | 1,01 | 1,51 | 1,15 |
| | Valor máximo (mm) | 1,77 | 1,97 | 2,11 | 1,53 | 1,99 | 1,39 |
| Altura da extração da amostra (m) | | 1,29 | 3,47 | 1,43 | 1,36 | 1,53 | 1,69 |
| Localização da extração - casa de máquinas | | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.2 | 3.2 |

Tabela 2 - Resumo de todos os dados obtidos de extração das amostras de revestimento.

| Informação | | Espessura do revestimento (mm) nos pontos | | | | | |
|--------------------|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| De todos os pontos | Média (mm) | 1,59 | | | | | |
| | Desvio padrão (mm) | 0,30 | | | | | |
| | Coeficiente de variação (%) | 19 | | | | | |
| | Valor mínimo (mm) | 1,01 | | | | | |
| | Valor máximo (mm) | 2,11 | | | | | |

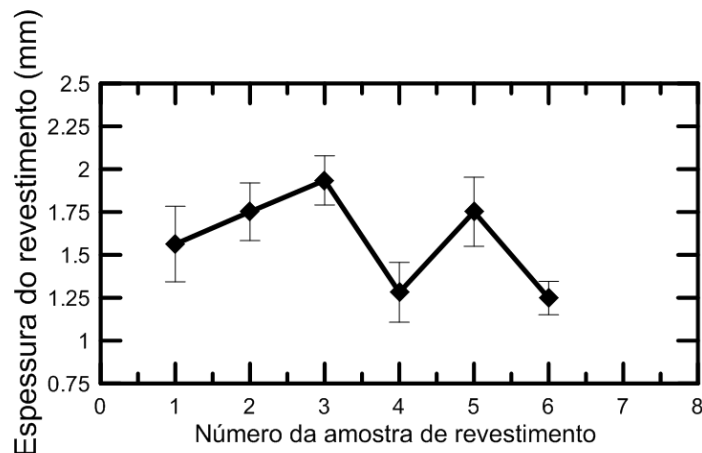


Figura 8 – Espessi

las amostras.

A Tabela 1 indicou valores iguais e próximos de espessura de revestimento para alguns locais, bem como também espessuras distintas de revestimento. O valor médio geral da espessura do revestimento está apresentado na Tabela 2 e tem valor de 1,59 mm com desvio padrão de 0,30 mm e coeficiente de variação de 19%. Os valores médios individuais foram de 1,3 a 1,9 e não atenderam plenamente ao especificado em projeto.

4. CONCLUSÕES

Como conclusões, tem-se:

- ✓ os valores obtidos de espessuras de revestimento polimérico variaram individualmente entre 1,3 mm a 1,9 mm e não atenderam ao especificado em projeto;
- ✓ houve o desenvolvimento de umidade, mofo e outros patógenos de forma repetida ao longo de 2 anos no revestimento estudado;
- ✓ ressalta-se a necessidade de inspeção e verificações pós-obra em sistemas de revestimentos especiais com o tempo para verificação de condições de umidade, desenvolvimento de microrganismos etc e
- ✓ há a necessidade de reaplicação do revestimento para atingir a espessura mínima.

REFERÊNCIAS

- [1] JABARI, M-A. (2022). **Advanced Protection Technologies of Concrete by Pore Blocking and Lining**, Integral Waterproofing of Concrete Structures, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 393-435. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824354-1.00012-X>
- [2] HEINLEINA, U. et al. (2021) **Pre-applied bonded waterproofing membranes: A review of the history and state-of-the-art in Europe and North America**. Construction and Building Materials, v. 296, n.16, 123751, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123751>
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575: Impermeabilização – Seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2010.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574: Execução de Impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2008.
- [5] FENG-QING, Z. et al. (2011). **Preparation and properties of an environment friendly polymer-modified waterproof mortar**. Construction and Building Materials, 25, 5, 2635-2638. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.012>

- [6] MEHRABANI, S.A.N. et al. (2022). **Green solvents in polymeric membrane fabrication: a review**. Separation and Purification Technology, v. 298, n.1, 121691, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121691>
- [7] ZHANG, H. et al. (2021). **Preparation of zinc oxide loaded polyurethane/polysulfone composite nanofiber membrane and study on its waterproof and moisture permeability properties**. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 629,20. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127493>
- [8] RUPAL, A. et al. (2020). **Experimental investigation on mechanical properties of polyurethane modified bituminous waterproofing membrane**. Materials Today: Proceedings, 27, 1, 467-474. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.278>
- [9] ZHANG, X. et al. (2021). Polymer-modified cement mortars: Their enhanced properties, applications, prospects, and challenges. Construction and Building Materials, 299, 13, 124290. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124290>
- [10] AKTAS, Y.D. et al. (2021). **Impact of surface waterproofing on the performance of brick masonry through the moisture exposure life-cycle**. Building and Environment, 197, 15. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107844>
- [11] WALDVOGEL, M. et al. (2020). **Influences of temperature and opening rate of substrate cracks on the mechanical behaviour, crack-bridging ability and deformation mechanisms of one-component, cementitious, flexible waterproofing membranes**. Cement and Concrete Research, 136, 106140. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106140>
- [12] SANTOS, J.A.B.; MONTE, R. (2022). **Evaluation of the crack bridging ability of waterproofing membranes using indirect tensile test and digital image correlation**. Journal of Building Engineering, 45, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103667>.
- [13] HUANG, J. (2007). A new test method for determining water vapor transport properties of polymer membranes. Polymer Testing, 26, 5, 685-691. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2007.04.005>
- [14] WALDVOGEL, M. et al. (2020). **The microstructural evolution of cementitious, flexible waterproofing membranes during deformation with special focus on the role of crazing**. Cement and Concrete Composites, 107, 2020, 10349. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103494>
- [15] YANG, J. et al. (2020). **Experimental study on the long-term behaviors of spray-applied acrylate waterproofing membrane for tunnels exposed to aggressive ions**. Construction and Building Materials, 258, 20, 119603. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119603>
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 – Edificações habitacionais: Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2021.
- [17] KUMAR, P. A. **Anti-Bacterial and Anti-Viral Polymeric Coatings** (2021). Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820352-1.00118-8>
- [18] Ribeiro et al. (2021). MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO - ESTUDO DE CASOS EM GOIÂNIA/GO. In: ANAIS DO 16º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO - 16º SBI_2021. IBI Instituto Brasileiro de Impermeabilização, 16, São Paulo, 2021, **Anais [...]** São Paulo: IBI, 2021, p. 1-20.
- [19] CUPERTINO, D.; BRANDSTETTER, M.C. G. de O. (2015). **Proposição de ferramenta de gestão pós-obra a partir dos registros de solicitação de assistência técnica**. Ambiente Construído, 15, 243-265. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000400049>

[20] COTTA, A. C.; ANDERY, P. R. P. (2018). **As alterações no processo de projeto das empresas construtoras e incorporadoras devido à NBR 15575 – Norma de Desempenho.** Ambiente Construído, 18, 1, 133-152. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100213>

[21] LAZZARINI, S.; HIPPERT, M.A.S. (2021). **Diretrizes para controle de informação documentada gerada pela implantação da NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho em empresas construtoras.** Ambiente Construído, 21,1. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000100501>

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: **Manutenção de Edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.** Rio de Janeiro, 2012.

[23] LIMA, J. L. de A.; PASSOS, F. U.; COSTA, D. B. (2013) **Processo integrado de projeto, aquisição e execução de sistemas de impermeabilização em edifícios residenciais.** Ambiente Construído, 13, 3, 59-77.

ÁREA TEMÁTICA: SUSTENTABILIDADE

**APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
COMO AGREGADOS PARA PRODUÇÃO DE CONCRETOS**

PAULA, Adriene Aparecida Silva de¹; COSTA, Alessandro Alves Monteiro²; CORDEIRO, Ariéle Henriques³

¹ Faculdade do Futuro, Manhuaçu, Brasil, adriene_silva2013@hotmail.com, 0000-0002-7395-3385

² Faculdade do Futuro, Manhuaçu, Brasil, alessandroalvesmonteirocosta@gmail.com, 0000-0003-4345-4662

³ Faculdade do Futuro, Manhuaçu, Brasil, arielehenriques15@hotmail.com, 0000-0001-8340-4737

RESUMO

Com o aquecimento do setor da construção civil, a geração de resíduos advindos da construção e demolição vem crescendo consideravelmente. Diante desse cenário, o principal objetivo deste trabalho foi realizar um estudo experimental que pudesse proporcionar a análise da influência da substituição parcial e total de agregados graúdos naturais por agregados graúdos reciclados em concretos visando o emprego estrutural. Os agregados utilizados foram fornecidos pela empresa Vila Recicla (Marca Ambiental - Vitória/ES). Os ensaios foram feitos com concretos produzidos com 100% de agregado graúdo natural, com uma porcentagem de 40% de agregado graúdo reciclado e com 100% de agregado graúdo reciclado, e foram avaliados quanto à resistência à compressão simples. Os resultados encontrados mostraram que a resistência à compressão foi pouco afetada quando empregada a substituição de 40% de agregado graúdo reciclado, concluindo que é possível o emprego do agregado reciclado em concretos estruturais, desde que sejam estudadas as propriedades dos materiais para dosagem do traço, sem diminuir a sua qualidade e resistência de forma significativa, gerando benefícios econômicos e ambientais. Assim, a utilização de agregados reciclados pode ser uma alternativa sustentável para minimização dos impactos gerados pela construção civil no meio ambiente.

Palavras-chave: concreto estrutural, resíduos da construção civil, alternativa sustentável.

ABSTRACT

With the heating of the construction sector, the generation of waste from construction and demolition has been growing considerably. In this scenario, the main objective of this work was to carry out an experimental study that could provide the analysis of the influence of partial and total substitution of natural aggregates by recycled aggregates on concretes aiming at structural employment. The aggregates used were provided by Vila Recicla (Environmental Brand - Vitória / ES). The tests were made with concrete produced with 100% natural bulk aggregate, with a percentage of 40% recycled aggregate and with 100% recycled aggregate, and were evaluated for simple compressive strength. The results showed to observe that the compressive strength was little affected when 40% of the recycled aggregate was used, concluding, that it is possible to use the recycled aggregate in structural concretes, as long as the properties of materials for the dosage of the trace, without diminishing its quality and resistance of significant form, generating economic and environmental benefits. Thus, the use of aggregate recyclers can be a sustainable alternative to minimize the impacts generated by construction in the environment.

Keywords: structural concrete, construction waste, sustainable alternative.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem um papel fundamental para a sociedade, entretanto é também responsável pela geração de inúmeros impactos negativos ao meio ambiente, sendo que muitos destes relacionam-se à geração de resíduos [1]. Os resíduos da construção civil (RCCs) apresentam crescente participação no total de resíduos urbanos (RSU), e de acordo com Cabral [2] já configuram uma média de geração de 0,52 tonelada/habitante/ano.

No Brasil estima-se que a construção civil seja responsável por cerca de 50% do uso de recursos naturais [3]. A produção de agregados, por exemplo, demanda a extração de recursos naturais cada vez mais escassos, por isso a busca por alternativas que visam à sustentabilidade tem sido cada vez mais empregadas nos diversos setores produtivos [4].

A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) contribui para a sustentabilidade, mas há a necessidade de criação de políticas públicas que contribuam e incentivem as ações voltadas para o desenvolvimento sustentável [5].

Dentro deste cenário de geração de um grande volume de resíduos da construção civil, uma considerável mudança pode ocorrer com a produção e utilização de agregados reciclados, de forma a se pautarem como uma alternativa promissora para a evolução do setor da construção civil[6].

Os resíduos de construção e demolição apresentam características que permitem sua aplicação em diversos materiais de construção, inclusive na produção de concretos estruturais [7]. Entretanto, considerando que o RCC apresenta grande heterogeneidade, é importante que o material receba um tratamento científico prévio à sua utilização, ainda mais em aplicações estruturais. Além disso, para que a aplicação dos agregados reciclados se torne efetiva em larga escala é necessário o conhecimento de suas propriedades, assim, é fundamental que se amplie as pesquisas sobre os RCDs.

Consequentemente, este trabalho orienta-se no sentido de avaliar a influência da substituição parcial e total de agregados graúdos naturais por agregados reciclados, obtidos em unidades de beneficiamento de agregado reciclado (UBAR), para produção de concretos estruturais, com o intuito de garantir a qualidade do produto final, minorar os custos nas construções e reduzir o consumo de recursos naturais não renováveis.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 VISÃO GERAL

Concomitante ao rápido crescimento populacional, verifica-se o aumento das atividades relacionadas à indústria da construção civil no que tange a geração de resíduos [8].

Estima-se que a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) seja de 2 a 3 bilhões de toneladas por ano (ton/ano) no mundo, sendo que cerca de 68,5 milhões ton/ano são gerados no Brasil [9]. Segundo Lima [10], no Brasil, 90% dos resíduos gerados pela construção civil poderiam ser reciclados.

A indústria da construção é responsável pelo alto consumo de recursos naturais e energia, dissipando mais de 50% dos recursos extraídos no mundo [11]. É também responsável pela geração de bilhões de toneladas de resíduos anualmente [2]. Destaca-se ainda que, a falta de qualidade dos serviços, tanto no que se refere ao material utilizado e a qualidade do projeto, quanto no treinamento da mão de obra, contribui para o aumento na geração dos resíduos, além de ocasionar perdas materiais [12, 13].

Um dos grandes problemas associados ao aumento da geração dos resíduos de construção e demolição (RCD) é o seu descarte em locais inapropriados, o que prejudica o meio ambiente [14]. Pinto [15] destaca que cerca de 40% a 70% de todo o resíduo nacional não é reciclado e tem um direcionamento inadequado.

Ainda que os resíduos gerados na construção civil sejam classificados como materiais de baixa periculosidade e possuam grande possibilidade de reciclagem, os RCCs quando depositados de forma inadequada podem desencadear diversos impactos negativos, como acúmulo em margens de rios e terrenos abandonados, ocasionando poluição, assoreamento dos rios e córregos, enchentes e bloqueio de tráfego; e geração de gastos públicos, devido, por exemplo, a sobrecarga dos sistemas de limpeza urbana pública [15].

Segundo Ferreira [14], é essencial aplicar as possibilidades de reciclagem e reutilização dos RCDs visando não somente minorar os impactos ambientais negativos, mas também a redução dos custos das construções, inserindo uma alternativa de materiais mais baratos no mercado, sem prejuízo à qualidade.

É imprescindível a orientação em relação à relevância da inserção de propostas que levem à atenuação da geração de RCC e estimulem a reciclagem e reutilização destes resíduos com a finalidade de minimizar custos nas construções, impactos ambientais negativos e ameaças à saúde da população [16]. Considerando a contínua geração de resíduos, o seu reaproveitamento é de fundamental importância também para diminuição da extração de matéria-prima [17].

2.2 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os resíduos gerados pela construção civil recebem várias denominações nas diferentes regiões do país, como: caliça, metralha ou entulho de obras. Segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), na resolução n° 307 de 5 de julho de 2002[18], resíduos da construção civil são:

Provenientes de construções, reformas, demolição, reparos e demolições de obras da construção civil, e os resultados da preparação e escavação de terrenos tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc.[18].

O artigo 3° da resolução CONAMA n°307 [18], estabelece também a classificação dos resíduos em quatro classes, sendo A, B, C e D. Os resíduos classe “A” são os resíduos que apresentam possibilidade de reutilização ou reciclagem como agregados, tais como:

De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras; [18].

Apesar de existirem outras classificações para os RDCs, como apontado na NBR 10004 [19], ao longo deste trabalho será utilizada classificação do CONAMA, devido à difusão de suas terminologias no âmbito acadêmico. Assim, os resíduos classe A serão abordados como os resíduos passíveis de reaproveitamento na construção civil, sendo os resíduos utilizados nas usinas de reciclagem na produção de agregados reciclados.

2.3 VANTAGENS DA RECICLAGEM DE RCCs

Conforme Jhon [4], a geração de resíduos advindos da construção civil é inevitável, a industrialização têm sido intensa, novas tecnologias têm chegado dia a dia no mercado e o volume populacional tem crescido consideravelmente nos centros urbanos, gerando o aumento do consumo de bens e serviços. Portanto, a reciclagem e reintegração desses resíduos na fase construtiva têm uma importância efetiva e oferece inúmeras vantagens tanto econômicas quanto ambientais para a sociedade.

De acordo com Carneiro *et al.* [20], são algumas vantagens econômicas, ambientais e sociais provenientes da reciclagem de RCCs:

- Diminuição dos gastos com matérias-primas em virtude da comutação de materiais habituais por insumos reciclados;
 - Declínio da poluição causada pelo entulho e seus efeitos nas cidades, como acúmulo de sedimentos em recursos hídricos, e alagamentos em dias chuvosos;
 - Conservação de matérias não renováveis e diminuição de aterros de agregados e RCCs;
 - Minimização do uso de energia e produção de CO₂ na fabricação e traslado de materiais.
- Santos [21] destaca outros benefícios do aproveitamento dos itens reciclados:
- Decrescimento de aterros ilegais;
 - Minimização de custos para a administração pública relacionados à limpeza urbana;
 - Diminuição de necessidade de áreas públicas para destinação dos resíduos.

Martins [22] afirma que a reciclagem dos resíduos da construção concede alcance das classes parcialmente beneficiadas da população, uma vez que viabiliza a incorporação de materiais de construção com preços mais acessíveis junto aos consumidores. A reciclagem deve ser vista, além do aspecto ambiental, como uma atividade benéfica financeiramente, pois gera admissão de funcionários, receita e conhecimento [23].

2.4 APLICAÇÕES CONSOLIDADAS DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Os RCDs reciclados possuem várias possibilidades de aplicação, dentre elas podem-se citar: pavimentação, construção de camadas drenantes, produção de argamassas de assentamento e revestimentos, fabricação de elementos pré-moldados (blocos, meios-fios, mobiliários urbanos, etc.) [24].

Uma das aplicações mais comuns dos agregados reciclados é em bases e sub-bases para pavimentação. Entretanto, o setor de pavimentação não conseguiria sozinho absorver integralmente todo o material reciclado produzido [3,25].

O agregado reciclado pode ser utilizado também, nos casos de melhor aproveitamento, em concretos não estruturais, em frações de agregados graúdos e miúdos [26]. O aumento do emprego de agregados de RCDs em concretos pode contribuir para alargar o mercado e gerar mercadorias de maior valor agregado [9].

Conforme Tenório [27], o agregado reciclado também pode ser utilizado em aplicações estruturais, desde que sejam bem analisadas algumas particularidades que podem limitar o emprego do mesmo em alguns casos: menor resistência, maior permeabilidade e maior deformação.

3. METODOLOGIA

O procedimento experimental deste trabalho foi constituído das etapas de planejamento, obtenção do agregado reciclado, caracterização dos agregados reciclados e naturais, dosagem experimental dos concretos e análise da consistência no estado fresco e da resistência à compressão axial dos corpos-de-prova de concreto no estado endurecido.

Os agregados foram obtidos na unidade de beneficiamento de agregados reciclados, Vila Recicla, situada na empresa Marca Ambiental localizada em Vitória-ES. As amostras adquiridas receberam a classificação de brita1, por causa de sua composição granulométrica que está na faixa de 19 mm e são provenientes de resíduos de construção e demolição (Figura1).



Figura 1- Matéria-prima para fabricação de agregados reciclados.

O estudo de dosagem foi feito utilizando o método da Associação Brasileira de cimento Portland (ABCP). A relação a/c (água/ cimento) utilizada foi de 0,46, considerando as classes de agressividade moderada da NBR 6118 [28], o cimento utilizado foi CII-E- 32. O percentual de substituição foi de 40% dos agregados graúdos. A porcentagem de substituição se baseou nos resultados obtidos por meio da pesquisa bibliográfica, principalmente Lovato [29], onde um de seus melhores resultados foi na porcentagem de substituição 50%. Para uma relação a/c de 0,5 obteve-se 0,85 da resistência em relação ao concreto de referência [29].

Buscando a otimização dos resultados o estudo foi concentrado na porcentagem de 40%, sendo elaborados dois traços de referência um com 100% de agregados naturais e outro com 100% de agregados graúdos reciclados. Foi realizada a pré-umidificação dos agregados reciclados para evitar a absorção da água de amassamento do concreto [29,30]. A determinação da consistência seguiu os preceitos da NBR NM 67 [31].

Para cada traço produzido foram realizados ensaios de resistência à compressão axial, aos 7, 14, 21, e aos 28 dias, de acordo com os padrões estabelecidos pela NBR 5739 [32], sendo que para cada traço foram ensaiados 3 corpos de prova por data.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após o processo de caracterização dos materiais foram feitas análise dos dados obtidos em laboratório, os resultados encontrados estão dispostos na Tabela 1. É possível observar que os valores de massa específica e de massa unitária para os agregados reciclados são menores que para os agregados naturais de mesma dimensão. Tal fato decorre da existência de argamassa na constituição do material que dá origem ao agregado reciclado. Além das frações mais finas oriundas da pasta de cimento, a maior porosidade do material também contribui para a diminuição da massa unitária.

Tabela 1- Características dos materiais ensaiados.

| Característica | Agregado miúdo | Agregado graúdo natural | Agregado graúdo reciclado | Cimento |
|--|----------------|-------------------------|---------------------------|---------|
| DMC (mm)* | 4,75 | 19 | 19 | - |
| Massa específica (Kg/m³) | 2,61 | 2,86 | 2,70 | 2,993 |
| Massa unitária (Kg/m³) | 1,55 | 1,45 | 1,34 | 1,31 |
| Coefficiente de inchamento | 1,48 | - | - | - |
| Umidade crítica (%) | 1,2 | - | - | - |

*DMC- Dimensão máxima característica.

Partindo da relação água/cimento iniciais previa-se um abatimento de 100±20 mm, parâmetro para concreto fabricado com agregados convencionais, no entanto mantendo a relação de 0,46, o abatimento foi menor que o esperado, sendo de 52 mm para o traço 1 e de 50 mm para os traços 2 e traço 3. Os concretos fabricados com agregados reciclados apresentam heterogeneidade nos valores de abatimento. Tal heterogeneidade se deve não apenas à alta taxa de absorção de água pelos agregados reciclados, por serem muito porosos, mas também devido à forma e textura do material. Os agregados reciclados, além de possuírem alta absorção de água mesmo após a mistura do concreto, apresentam partículas mais angulares e superfície mais áspera, o que diminui a mobilidade da material como um todo. Com tais características, o agregado reciclado necessita de mais água de amassamento para proporcionar uma trabalhabilidade adequada, o que justifica o menor abatimento em comparação com o concreto convencional.

Como mencionado anteriormente, os agregados reciclados possuem alta absorção. Para amenizar essa absorção os agregados foram utilizados na condição saturados superfície seca. Os grãos foram imersos por 24h antes de sua utilização, sendo retirados e secos superficialmente antes da utilização. Esse procedimento foi adotado para que a absorção de água não prejudicasse de forma crítica a mistura, atenuando a absorção da água de amassamento do concreto.

Os respectivos traços unitários, juntamente com os traços em massa, são apresentados na Tabela 2. Foi acrescentado ao traço em massa 10% na quantidade de cimento a ser adicionada na mistura, mantendo as proporções dos demais materiais. Esse procedimento foi realizado devido ao grau de incerteza da dosagem, que é experimental, o que implicaria em ajustes no traço após ensaios laboratoriais. Esse acréscimo de cimento também advém da necessidade de equilibrar a relação a/c, já que os agregados reciclados exigem relativamente mais água no concreto que os agregados convencionais.

Tabela 2- Traços unitários e em massa para produção dos concretos.

| Traço | a/c | Traço unitário | | % AGR | Traço em massa | | | |
|----------|------|----------------|-----------------|-------|----------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| | | Areia | Agregado graúdo | | Cimento (Kg) | Areia natural (Kg) | Brita natural (Kg) | Brita reciclada (Kg) |
| 1 | 0,46 | 1,76 | 2,24 | 0 | 31,9 | 52 | 65 | - |
| 2 | 0,46 | 1,82 | 2,15 | 40 | 9,9 | 16,5 | 12 | 7,5 |
| 3 | 0,46 | 1,89 | 2,07 | 100 | 9,9 | 17 | - | 18,6 |

Foram analisados os ensaios de resistência à compressão axial aos 7, 14, 21 e 28 dias. A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de compressão simples aplicados aos corpos de provas produzidos. Em todas as etapas o menor resultado foi com substituição de 100% (Traço 3) de agregado graúdo reciclado (AGR). O Traço 2, com 40% de substituição de AGR, apresentou desempenho superior ao concreto de referência (Traço 1) aos 7 e aos 21 dias, no entanto aos 28 dias mostrou-se com desempenho inferior ao de referência aos 28 dias.

Tabela 3- Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos concretos.

| Resultados dos ensaios de resistência à compressão | | | |
|--|-------------------|---------|---------|
| Dias | Resistência (MPa) | | |
| | Traço 1 | Traço 2 | Traço 3 |
| 7 | 14,6 | 15,2 | 9,6 |
| 14 | 19,0 | 17,0 | 12,3 |
| 21 | 19,3 | 20,2 | 13,2 |
| 28 | 21,8 | 21,2 | 18,0 |

Apesar do Traço 3 apresentar resultados abaixo do esperado, este mostrou um aumento progressivo na resistência ao longo dos dias, assim como as demais amostras. O traço foi dosado para obter uma resistência mínima de 25 MPa aos 28 dias, no entanto nenhum dos traços atingiu o valor especificado, estando a resistência máxima dos traços em 21,8 MPa.

Ainda assim, manteve-se o parâmetro de comparação, pois podemos observar que o Traço 2 apresentou desempenho bem próximo ao concreto de referência como consta na Figura 1. Podemos afirmar que os resultados foram satisfatórios e que a substituição é viável, no entanto há uma necessidade de reavaliação do traço com aumento no consumo de cimento.

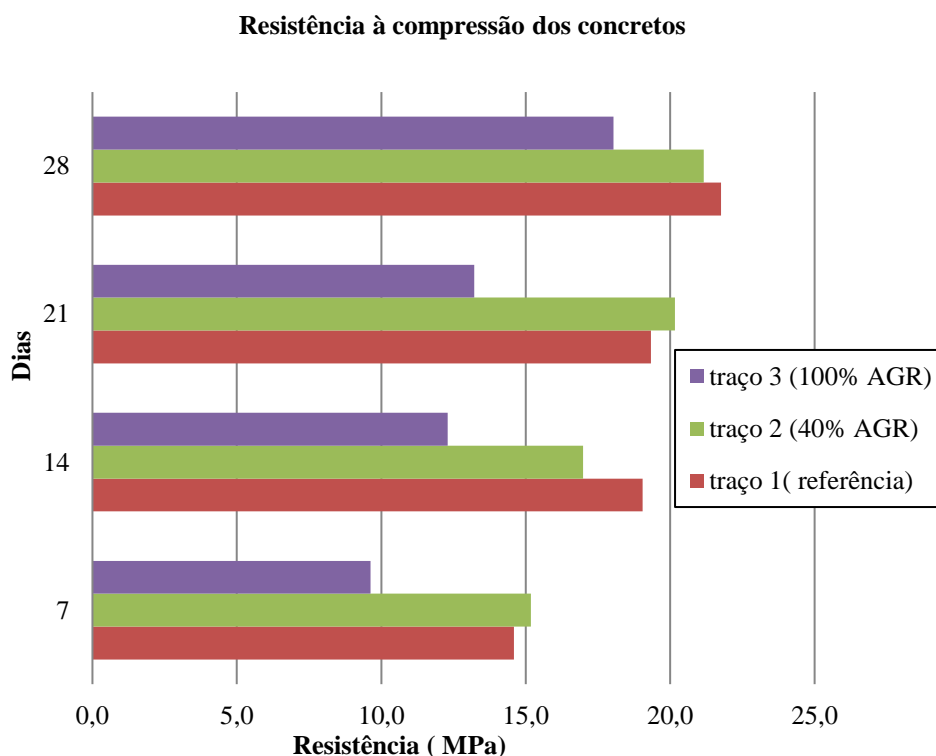


Figura 1- Comparação da resistência à compressão dos concretos.

A progressão das resistências ao longo do tempo assim como a proximidade do desempenho dos concretos nos traços 1 e 2 pode ser observada nas linhas de tendências presentes na Figura 2. O fator de desempenho do Traço 2 foi de 0,972, enquanto que para o Traço 3 foi de 0,829 (Tabela 4). É possível constatar a relação resíduo x resistência, ou seja, quanto maior a adição, menor a resistência à compressão nos corpos de prova

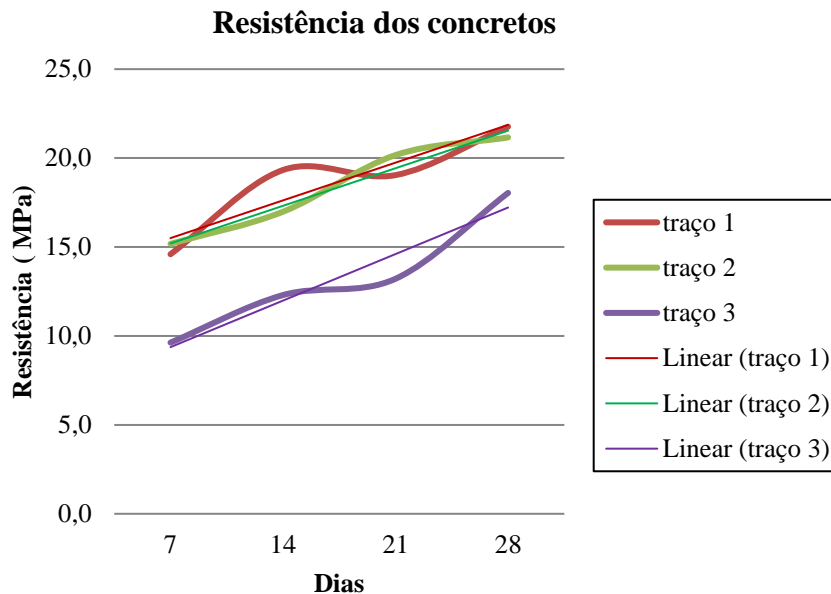


Figura 2- Projeção da resistência à compressão.

Tabela 4- Relação de desempenho dos concretos.

| Dias | Traço 1 | Traço 2 | Traço 3 |
|------|---------|---------|---------|
| 28 | 1,000 | 0,972 | 0,829 |

5. CONCLUSÃO

As preocupações com a sustentabilidade do processo produtivo na construção civil e com a redução do custo das obras, além da necessidade de ampliar as pesquisas sobre os RCDs foram os principais fatores motivadores para o desenvolvimento da pesquisa.

Neste trabalho apresentou-se uma proposta para adição de resíduo de construção e demolição em 40% do total de agregados graúdos na mistura de concreto. Foi verificada a resistência à compressão nos corpos de prova de modo a se comparar o desempenho com o traço de referência (Traço 1) e com o traço com 100% de substituição de AGR (Traço 2). O estudo buscou obter resultados que apontassem para uma alternativa de reaproveitamento dos resíduos em aplicações mais nobres, como o concreto estrutural.

Os resultados apresentados nesse trabalho nos permitem concluir que o uso do agregado reciclado no concreto, em proporções corretamente dosadas, é viável para a produção de concretos estruturais, considerando a propriedade mecânica avaliada. Podemos afirmar que o desempenho do concreto com substituição parcial (Traço 2) foi satisfatório em relação ao concreto de referência (Traço 1), representando 0,97 do seu desempenho, isso mostra que a substituição parcial interfere minimamente na resistência final, o que torna possível sua utilização. No entanto, é de grande importância que se dê atenção para o tratamento dos resíduos, desde o beneficiamento até a caracterização em sua utilização como agregado nos concretos.

É imprescindível a procura por meios de inserção dos RCDs em novas construções ou em lugares onde não é viável a utilização de agregados naturais, assim, minimizando os impactos ambientais e reduzindo custos. Num momento em que a preservação do meio ambiente e dos recursos naturais estão cada vez mais em alta, a reciclagem de resíduos de construção e demolição se torna uma alternativa viável para redução dos impactos ambientais negativos ao meio ambiente, considerando que a inclusão destes materiais na obra minimiza o despejo destes tipos de resíduos em locais inapropriados e diminui também a extração de recursos naturais.

A utilização de RCD na construção civil pode gerar uma economia acentuada para o setor, pois a diferença de preço entre um agregado natural e um agregado reciclado é considerável [25]. Sendo assim, os custos de uma obra podem ser

reduzidos consideravelmente e os lucros otimizados. Por fim, enfatiza-se a necessidade de fomentos para utilização de novas tecnologias sustentáveis e para o monitoramento da qualidade de insumos e serviços na construção civil.

REFERÊNCIAS

- [1] Oliveira F. **Processo de Trabalho e Produção de Vínculos Sociais: Eficiência e Solidariedade na Triagem de Materiais Recicláveis [dissertação]**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2011.
- [2] CABRAL, A.E.B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 280p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- [3] LIMA JÚNIOR, O.; PINTO, J. A. **Aplicação do Conceito de Rede Logística Reversa na Construção Civil**. Congresso de pesquisa e ensino em transportes, 18, campinas. Anais... Campinas, 2004, p. 1158-1168.
- [4] JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [5] ANGULO, Sérgio Cirelli. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [6] LEITE, F. C. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. 2007. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo.
- [7] SILVA, Karlisson André Nunes da et al. **Estudo de propriedades mecânicas de concretos produzidos com diferentes agregados reciclados**. Maceió, 2011.
- [8] MORAIS, G. M. D. **Diagnóstico da Deposição Clandestina de Resíduos de Construção e Demolição em Bairros Periféricos de Uberlândia: subsídios para uma gestão sustentável**. Uberlândia, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.
- [9] ANGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [10] LIMA, Rosimeire S.; LIMA, Ruy Reynaldo R. Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil. **Série de Publicações Temáticas do Crea-PR**. Curitiba: Crea, 2009.
- [11] JOHN, V. M. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. Materiais de Construção e o Meio Ambiente**. Cap 4, São Paulo, IBRACON 2017.
- [12] OLIVEIRA, D. M. **Desenvolvimento de Ferramenta Para Apoio à Gestão de Resíduos de Construção e Demolição Com Uso de Geoprocessamento: caso Bauru, SP**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008. SCREMI.
- [13] TESSARO, A. B.; SÁ, J. S. DE; SCREMIN, L. B. **Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS**. Porto Alegre, 2012.
- [14] FERREIRA, Liliane Claudino. **Potencial da utilização de resíduos industriais na formulação de massa de cerâmica vermelha para a fabricação de blocos de vedação**. 2012.
- [15] PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, v. 189, 1999.

- [16] CABRAL, R. E. et al. **Panorama da destinação dos resíduos de construção civil nos municípios do estado de Minas Gerais**. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, Belo Horizonte-MG. 2014.
- [17] MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos Classe A da construção civil**. São Paulo, v. 439, 2005.
- [18] RESOLUÇÃO CONAMA. N° 307 de 05 de julho de 2002. **Dispõe sobre Gestão dos Resíduos da Construção Civil**, 2002.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. ABNT, RJ, 63p, 2004.
- [20] CARNEIRO *et al.* **Características do entulho e do agregado reciclado**. In: Carneiro, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. (Org) *Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: Projeto Entulho Bom*. Salvador: EDUFBA/Caixa Econômica Federal, cap.5, 144-187, (2001).
- [21] SANTOS, Eder Carlos Guedes dos. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estrutura de solo reforçado**. São Carlos, 2007.
- [22] MARTINS, Flávia Gadelha. **Gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte: estudos de caso**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [23] SOBRAL, Luis Gonzaga Santos. **Logística reversa: instrumento da gestão compartilhada na atual política nacional de resíduos sólidos**. CETEM/MCI, 2012.
- [24] BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil (Literature review: reuse of construction and demolition waste in the construction industry)**. Cerâmica, v. 61, p. 178-189, 2015.
- [25] ANGULO, Sérgio C.; JOHN, Vanderley M. Normalização dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos e a variabilidade. **Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**, v. 9, p. 1.613-1.624, 2002.
- [26] MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. São Paulo, v. 172, 2000.
- [27] TENÓRIO, Jonathas Judá Lima et al. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. Maceió, 2007.
- [28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- [29] LOVATO, P. S. **Verificação dos Parâmetros de Controle de Agregados Reciclados de Resíduos da Construção e Demolição para Utilização em Concreto**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.
- [30] LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassa e concretos**. 1999. 240p. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.
- [31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação de consistência pelo abatimento de tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.
- [32] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade

**REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DA LITERATURA -
CAPTURA DE CARBONO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO POR CARBONATAÇÃO**

ALVES, Marcelo Carvalho Tavares¹; REGO, João Henrique da Silva² SOUSA, Matheus Ian Castro³; DE PAULA, Andréia⁴

¹ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, marceloctalves@gmail.com, 0000-0002-9128-6387

² Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, jhenriquerego@unb.br, 0000-0001-9060-2010

³ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, matheusiancs@gmail.com, 0000-0001-7141-3919

⁴ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, paula_adp@yahoo.com.br, 0000-0003-1484-678X

RESUMO

O Cimento Portland é uma das substâncias mais utilizadas pelo homem, principalmente na construção civil, em função da sua resistência, alta durabilidade, facilidade no manuseio e capacidade de se moldar ao volume das formas, além de sua ampla disponibilidade. O grande contraponto se dá na questão ambiental, devido ao processo de decarbonatação da rocha calcária e o alto consumo em escala global, o que torna as indústrias cimentícias responsáveis por aproximadamente 7% do total de emissões de CO₂. Entretanto, alguns estudos têm levantado discussões sobre a potencialidade dos concretos e argamassas em capturar CO₂ pelo processo denominado de carbonatação, o que poderia corresponder a uma compensação ambiental pelas emissões associadas à produção de materiais cimentícios. Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliométrica sobre trabalhos que estudam a carbonatação como fenômeno de compensação ambiental na captura de CO₂, com foco nas principais pesquisas já produzidas. A realização do método Systematic Mapping of Literature (SML) foi utilizada e passa a ser baseada na compreensão de como está ocorrendo essa produção científica, identificando os principais países que tem publicado acerca do tema, sendo os três maiores EUA, China e Reino Unido, com destaque também para Espanha. Também foram identificados os principais autores e os principais grupos de pesquisa.

Palavras-chave: captura de carbono, carbonatação, revisão bibliométrica

ABSTRACT

Portland Cement is one of the most used substances by man, mainly in civil construction, due to its resistance, high durability, ease of use and its ability to mold itself to the volume of shapes, in addition to wide availability. The counterpoint is in the environmental issue, due to the decarbonation process of limestone rock and the high consumption on a global scale, which makes the cement industries responsible for approximately 7% of total CO₂ emissions. However, some studies have raised discussions about the potential of concretes and mortars to capture CO₂ by the process called carbonation, which could correspond to an environmental compensation for the emissions associated with the production of cementitious materials. This work aims to carry out a bibliometric review, focusing on the main research already produced and on works that study carbonation as a phenomenon of environmental compensation in the capture of CO₂. The implementation of the Systematic Mapping of Literature (SML) method is based on the understanding of how this scientific production is occurring, identifying the main countries that have published on the subject, the three largest being the USA, China and the United Kingdom, with emphasis also on Spain. The main authors and main research groups were also identified.

Keywords: carbon capture, carbonation, bibliometric review

1. INTRODUÇÃO

O concreto de Cimento Portland permitiu ao homem realizar grandes obras de engenharia com alta durabilidade e segurança. Sua alta resistência se deve ao clínquer, que pode ser definido, segundo Lima [1] como um produto granulado, obtido por tratamento térmico de uma mistura adequada de calcário e argila até fusão parcial e posterior reação química entre os óxidos de sílica, cálcio, ferro e alumínio.

O processo de fabricação do cimento Portland é responsável por aproximadamente 7% do total de emissões de CO₂, Segundo JOHN et al. [2]; WBCSD [3], sendo as grandes indústrias cimentícias consideradas uma das mais poluentes no setor da construção, levantando a questão da sustentabilidade. A energia consumida e a grande emissão de CO₂ se deve ao processo de clínquerização que ocorre na fabricação do cimento Portland. As estimativas das emissões de CO₂ para a produção do cimento devido à queima de combustíveis fósseis giram em torno de 30% e 40%, as emissões de CO₂ devido a descarbonatação da rocha calcária giram em torno de 60% e 70% e outros 5% ocorrem de forma indireta pelo consumo elétrico de acordo com o SNIC [4]. Cerca de 825 Kg de CO₂ por tonelada de clínquer produzido são liberados globalmente, segundo Andrade e Sanjuan [5]

O cimento é composto principalmente de clínquer, que é a matéria-prima obtida a partir da descarbonatação do calcário (CaCO₃), que ao ser calcinado produz óxido de cálcio (CaO), gerando como subproduto o dióxido de carbono (CO₂), conforme indicado na equação 1 abaixo, de acordo com Brasil [6] e Furcas [7]:



Entretanto, diversos autores têm discutido sobre o tema e pesquisas estão sendo realizadas sobre esse potencial de captura de CO₂ pelo concreto no processo de carbonatação, o que poderia corresponder a uma compensação ambiental pelas emissões associadas à produção de materiais cimentícios (Pade; Guimaraes [8]; XI et al. [9]; Possan [10]).

O processo de carbonatação no concreto é conhecido na literatura principalmente devido ao seu potencial de corrosão do aço em estruturas de concreto armado, reduzindo o pH do concreto (Savija e Lukovic [11]; Gandía-Romero et al. [12]; XI et al. [9]). Segundo Pade e Guimarães [8], as reações de carbonatação ocorrem durante todo o ciclo de vida da estrutura de concreto, e continuam ocorrendo após a demolição da mesma.

Em função do potencial de corrosão do aço em estruturas de concreto, a maior parte dos estudos sobre carbonatação é feita com o objetivo de verificar a proteção das armaduras contra a corrosão por carbonatação em estruturas de concreto armado. Por outro lado, trabalhos publicados mais recentemente discutem a capacidade de fixação de CO₂ por materiais cimentícios através do fenômeno da carbonatação.

O processo de carbonatação é um fenômeno físico-químico que ocorre entre o dióxido de carbono (CO₂), presente na atmosfera e o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) presente na matriz cimentante, resultando, assim, em carbonato de cálcio (CaCO₃) e água (H₂O), conforme descrita na equação 2 (Chun et al. [13]).



O CO₂ da atmosfera ingressa pela superfície exposta e avança pelo interior da estrutura consumindo hidróxido de cálcio e outros produtos da hidratação do cimento reduzindo o pH do concreto e despassivando o aço imerso, deixando a armadura vulnerável à corrosão (Pauletti [14]), o que não é desejável em estruturas armadas, porém, em estruturas não armadas como revestimentos argamassados, a carbonatação pode ser, inclusive, um efeito desejável, já que, não há armação para ser corroída. De acordo com Van Gerven et al.[15], a carbonatação reduz a porosidade do material e aprisiona o CO₂ através da reação química em um processo reverso ao da fabricação do cimento (Lagerblad [16], Pade e Guimarães [8]; XI et al [9]).

Na literatura há divergências em relação ao potencial de captura de CO₂ no processo de carbonatação dos elementos de concreto. Alguns autores, como Naik e Kumar [17], afirmam que cerca de 19% do dióxido de carbono produzido durante a fabricação de cimento é reabsorvido pelo concreto durante o seu ciclo de vida através deste processo. Outros autores, como Jacobsen e Jahren [18] estimaram esses valores em cerca de 16%, Gajda [19] afirmou que cerca de 7,6% do CO₂

emitido pode ser absorvido pelo concreto ao longo de sua via útil, enquanto Pade e Guimarães [8], estimaram, para uma perspectiva de 100 anos, considerando a demolição da estrutura, que o concreto pode absorver até 57%, e caso não seja considerada a demolição da estrutura, esse valor é reduzido para 24% do CO₂ emitido na produção do cimento no processo de carbonatação. Segundo Galan et al. [20], a absorção de CO₂ devido à carbonatação foi inferior a 50% por mol de CaO, em experimento realizado.

Estas diferenças encontradas na literatura podem estar relacionadas a forma em que as pesquisas experimentais são feitas, sendo as principais a carbonatação natural e a carbonatação acelerada. Segundo Pessuto [21], na Carbonatação Natural as amostras ficam expostas em condições ambiente. Estas são influenciadas pela variação de temperatura e umidade ambiente da região, posição geográfica e distância de grandes massas de água, montanhas ou outras características da superfície. Com isso, o clima pode ser mais quente, seco, úmido, frio ou chuvoso, e isso será um facilitador ou irá dificultar a associação do CO₂ no material cimentício (Stewart e Oke [22]).

Na Carbonatação acelerada as amostras ficam expostas em condições controladas e pré-determinadas para que as reações físico-químicas possam ocorrer de maneira acelerada no processo de carbonatação. Assim, os fatores que influenciam o processo de carbonatação são impactados diretamente pelas características do ambiente em que são expostos, tais como umidade, temperatura, relação a/c do concreto, idade da estrutura, concentração de CO₂ devido à atividade humana, que varia em um cada local devido aos diferentes tipos de atividade exercida, como industrial, por exemplo, entre muitos outros aspectos que podem influenciar a concentração de CO₂. A concentração de dióxido de carbono na atmosfera também irá variar conforme o tipo de atividade desenvolvida no local e a intensidade de tráfego de veículos na região (Stewart e Oke [22]).

Dessa forma, constata-se a importância de realizar uma revisão bibliométrica a respeito do tema, que vem ganhando espaço nas discussões e pesquisas realizadas ao redor do mundo.

2. METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliométrica, com foco nas principais pesquisas já produzidas, sobre trabalhos que estudam a carbonatação como fenômeno de compensação ambiental na captura de CO₂. Para atingir esse objetivo, utilizou-se o método Systematic Mapping of Literature (SML), citado por Marsilio et al. [23] como técnica que promove tentativas de quantificar a estrutura intelectual de um campo de pesquisa por meio de uma análise matemática e estatística de padrões que aparecem em publicações. Optou-se por esta metodologia devido sua facilidade de entendimento e versatilidade em diversos tipos de análises possíveis.

A absorção de CO₂ em elementos cimentícios tem ganhado interesse científico em diversos países. Desse modo, a realização do SML passa a ser baseada na compreensão da forma como está ocorrendo essa produção científica. É importante frisar que é essencial que se garanta que os procedimentos sejam feitos de forma sistemática a fim de se realizar uma análise eficaz. A Figura 1 mostra a sequência dos procedimentos escolhidos, onde primeiramente foi escolhida a base de dados em que a busca de artigos científicos seria realizada, seguida da definição das “strings” de busca, definição das condições de contorno e, por fim, definição dos critérios de seleção.

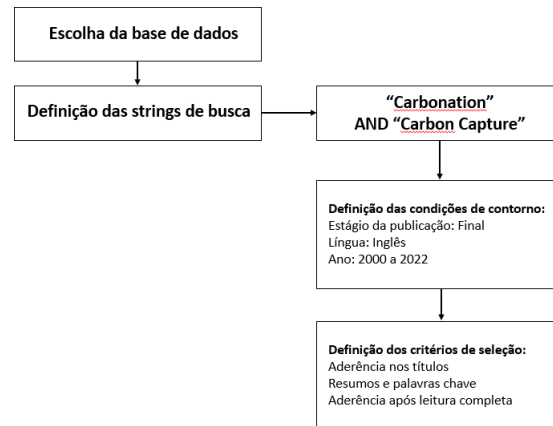


Figura 1 - Procedimento sistemático para análise dos trabalhos científicos.

Optou-se pela base de dados Scopus, pois, Chadegani Salehi et al. [24], compararam as características quantitativas e qualitativas entre as bases Scopus e Web of Science, concluindo que a Scopus possui maior abrangência de periódicos científicos e maior número de artigos recentes. Ressalta-se que a busca realizada no presente estudo abrangeu apenas obras em fase final de publicação até 15 de abril de 2022.

Para identificação dos principais autores e países que já publicaram sobre o tema, utilizou-se a ferramenta VOSviewer, que fornece uma interface para visualização dessas análises. Foram identificados os principais autores e países que publicaram sobre o tema, elaborando-se mapas de densidade e análise de rede para visualização dos resultados. Ademais, também se analisou o avançar da quantidade de publicações ao longo do tempo, identificando um crescimento de pesquisas nos últimos anos e uma tendência de alta.

3. RESULTADOS

O mapeamento aplicado na base Scopus resultou em 1924 publicações entre os anos 2000 e 2022, adotando como critério “carbon capture” nos títulos e palavras chaves, restaram 396 artigos. A partir do primeiro critério de seleção, por meio da leitura de títulos, palavras-chave e resumos, restaram 73 artigos inseridos no tema. O alto número de publicações não relacionados ao tema buscado, se deve ao fato do maior volume de publicações relacionando a carbonatação com efeito em armaduras e carbonatação em solos (e não do cimento Portland).

O segundo critério de seleção baseou-se na leitura dos resumos, palavras chaves e das publicações na íntegra, entretanto não foi possível ter acesso a 9 destes artigos para leitura. Assim, ao final desta etapa, foram identificadas 62 publicações que tinham como objetivo estudos sobre a captura de carbono no processo de carbonatação na construção civil.

3.1 Evolução da produção científica com o tempo

Ao analisar a Figura 2, é possível notar que até 2017 o volume de trabalhos inseridos no tema que foram publicados foi consideravelmente baixo. É possível observar, ainda, o aumento da produção científica a partir do ano de 2020.



Figura 2 – Evolução das publicações por ano

Considerando que o ano de 2022 ainda está em vigor na data em que a pesquisa foi realizada, não é possível completar o quantitativo para este ano. No entanto, de acordo com o gráfico da Figura 2, nota-se que a produção científica até meados de abril, em que este trabalho foi atualizado, já representa um terço do que foi publicado no ano de 2021, também está próximo do número de publicações encontrados em 2019 e superior aos anos anteriores a 2018.

3.2 Principais formas de publicação

Com base nas informações obtidas no SML, foi realizada uma análise sobre os locais de publicação das produções científicas, resultando na identificação de trabalhos publicados em periódicos, congressos e capítulos de livros. A Figura 3 contém as quantidades de publicações para cada localidade após a aplicação dos critérios de seleção.

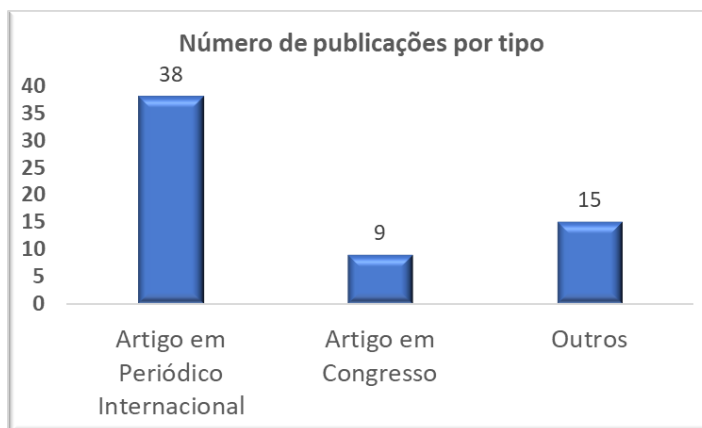


Figura 3 – Tipos de trabalhos publicados.

Dos 62 estudos resultantes da busca sistematizada, 38 foram artigos publicados em periódicos internacionais, totalizando 61% da produção científica total sobre o tema. O que destaca a relevância deste tema para a comunidade acadêmica e um anseio dos pesquisadores em se compreender o potencial de captura de CO₂ na carbonatação como compensação ambiental para geração do CO₂ gerado na produção do clínquer.

3.3 Análise das Redes Bibliométricas e Sociométricas

Para realizar uma análise de redes bibliométrica e sociométricas, utilizou-se a ferramenta VOSviewer, desenvolvida na Universidade de Leiden (Holanda), que fornece uma interface para visualização dessas análises. Esta ferramenta utiliza um método de visualização baseado na distância entre os nós da rede analisada, onde a distância entre dois nós indica aproximadamente a intensidade da relação entre eles, conforme Van eck et al. [25].

Neste estudo as análises do software foram realizadas quanto aos termos de ocorrência das palavras-chave, relação das publicações entre países e autores. Os parâmetros escolhidos para realizar esta análise foram: a ocorrência de palavras-chave, utilizando o método de contagem completa para digitalização de título, resumo e palavras-chave; a citação, onde são listados apenas os países que colaboraram para publicação dentro das 62 obras; e o acoplamento bibliográfico para analisar a relação entre as publicações dos autores, uma vez que este parâmetro utiliza o número de referências compartilhadas como medida de similaridade entre elas.

A Figura 4 contém o mapa relacionando a palavras-chave, mostrando que os termos "carbono dioxide" e "carbonation" têm a maior força de ligação, ou seja, são os termos mais recorrentes nas publicações selecionadas.

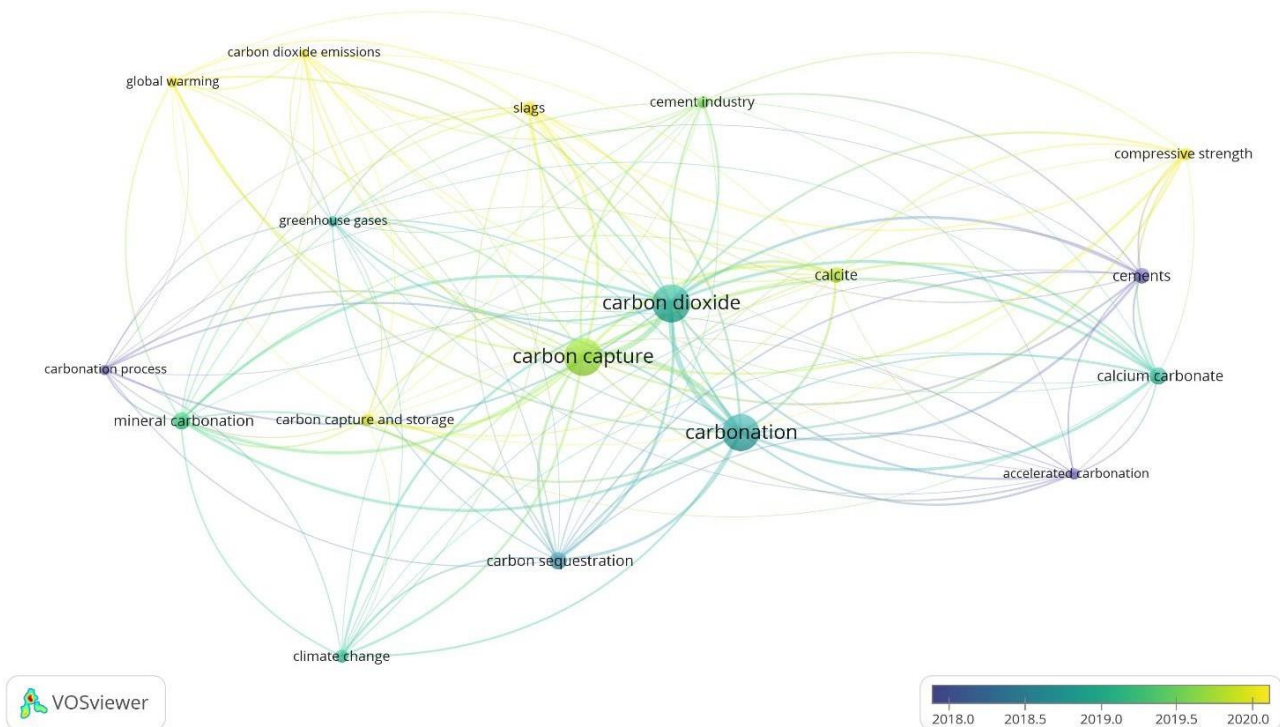


Figura 4 – Mapa de densidade de palavras chaves e suas correlações.

Pode-se notar que a ocorrência de termos relacionados ao dióxido de carbono e sua captura e carbonatação são predominantes, e se apresentam com forte força de ligação e frequência (o que pode ser observado pela proximidade entre os nós e tamanho deles).

Já a Figura 5 mostra o resultado da leitura do algoritmo para os países das publicações resultantes da etapa de seleção. Devido à utilização do parâmetro de citação nesta análise, o mapa de densidade é apresentado de acordo com o número de publicações referentes a cada país, com os Estados Unidos, China e Reino Unido à frente na produção científica, seguidos pela Espanha. Pode-se observar também que a distância entre os 2 principais países em número de estudos (China e EUA) mostra que há certa colaboração entre estes para publicações neste tema.

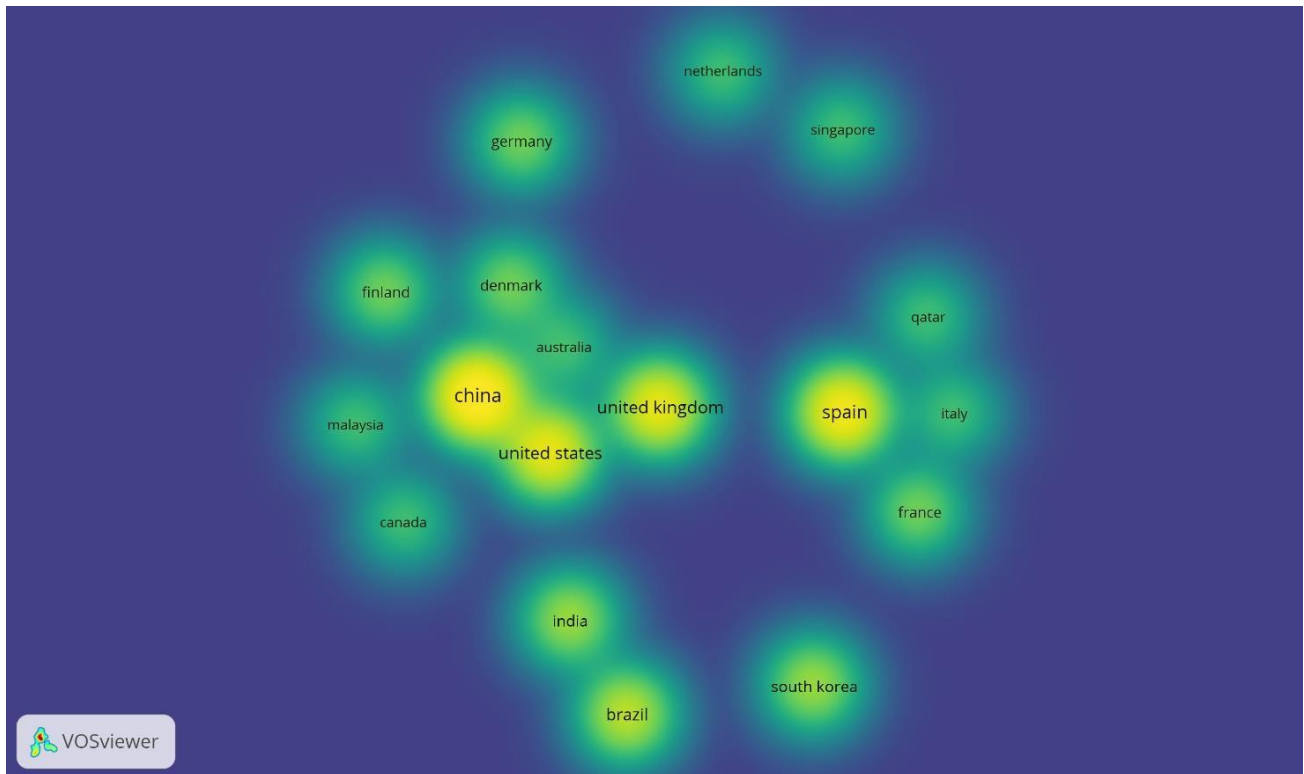


Figura 5 – Mapa de densidade com volume de publicações por país.

Por fim, na Figura 6, cada nó representa um autor, e nós com a mesma cor representam colaboração no desenvolvimento de trabalhos. O nível de intensidade do volume de colaboração entre os autores é representado pela distância entre os nós e quanto mais próximos estiverem, mais forte será o vínculo em termos de coautoria. O grupo com mais relevância inclui os autores Martín e Galan, porém com pouca comunicação entre outros grupos de pesquisa. Há ainda outros grupos com mais interação entre autores, porém todos com aproximadamente o mesmo volume de publicações. Também podemos destacar a autora Edna Possan, que é brasileira e já realizou pesquisas sobre o assunto.

Dessa forma é possível observar os principais grupos de pesquisa que vem trabalhando no tema, assim como os autores com mais publicações no tema (tamanho do nó). Embora o número de documentos ainda seja relativamente pequeno, é possível notar certa interação entre os diversos autores no desenvolvimento das pesquisas.

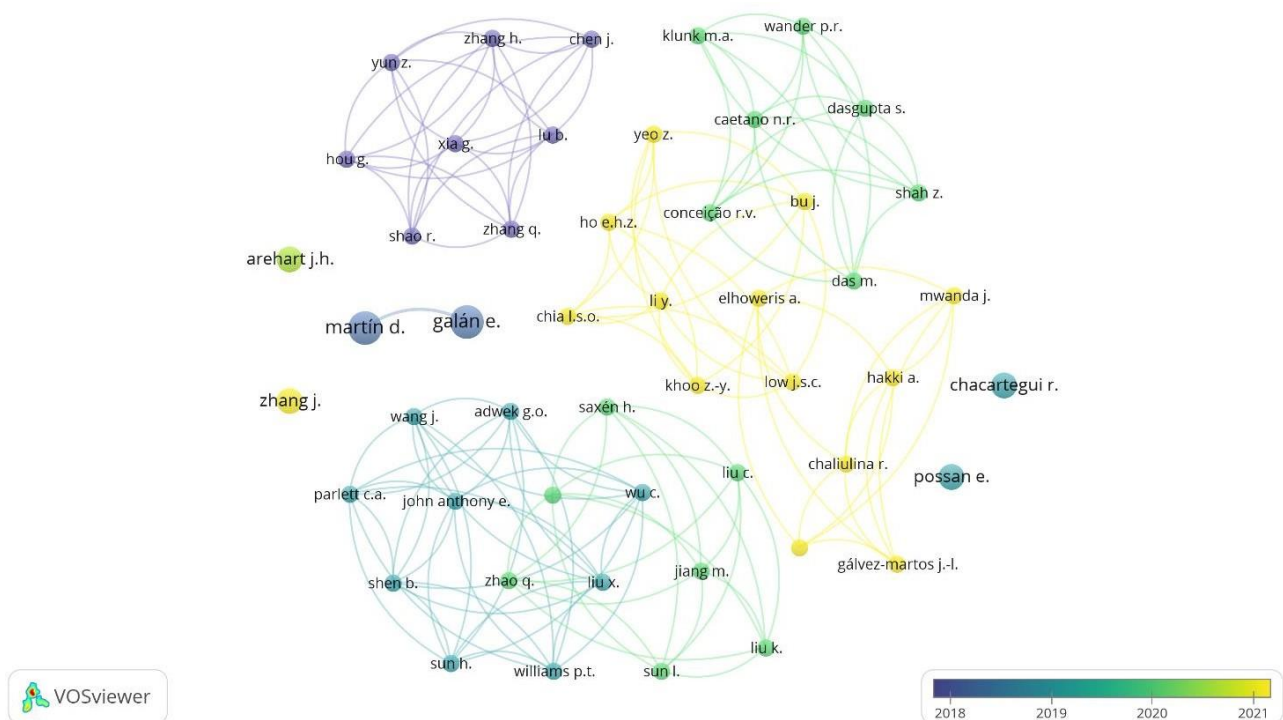


Figura 6 – Análise de rede de autores

4. CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados apresentados, as seguintes conclusões são observadas:

- Verificou-se um crescimento no volume de pesquisas realizadas sobre o tema a partir de 2018, estando ainda em tendência de crescimento;
- Os principais países, em volume de publicação, são EUA, China e Reino Unido, com destaque também para Espanha;
- Em relação aos núcleos de pesquisa, é possível observar certa interação entre os diversos autores no desenvolvimento de pesquisas.

O estudo foi realizado com o objetivo de realizar a revisão bibliométrica sobre captura de carbono em estruturas de concreto. Nota-se, pelos resultados encontrados, que o tema vem recebendo muita atenção de pesquisadores no mundo todo, justificando a necessidade da publicação do presente artigo, no sentido de direcionar e esclarecer pontos chaves na continuação de pesquisas relacionadas ao tema.

REFERÊNCIAS

- [1] LIMA, A. B., **O processo produtivo do cimento Portland**. Belo Horizonte, p. 23-24, 2011. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais da Universidade Federal de Minas Gerais.
- [2] JOHN, V. M.; PUNHAGUI, K.R.G.; QUATTRONE, M.; REIS, D.C. **Potencial de mitigação de CO₂ de materiais cimentícios na fase de uso**. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC. 2018, Foz do Iguaçu. Anais... São Paulo: ANTAC, 2018.
- [3] WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry**. 2018.
- [4] Sindicato Nacional da Indústria da Construção - SNIC. **ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono na indústria do cimento brasileira até 2050**. Rio de Janeiro, 2019.
- [5] ANDRADE, C.; SANJUÁN, M. A. **Updating Carbon Storage Capacity of Spanish Cements**. *Sustainability*, Basileia, V.10, 2018.
- [6] BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (MCTIC). **Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Setor Processos Industriais - Produtos Minerais**, 2015.
- [7] FURCAS, C. et al. **Evaluation of CO₂ uptake under mild accelerated carbonation conditions in cement-based and lime-based mortars**. *Advanced Materials research*, p. 57-61, 2014.
- [8] PADE, C.; GUIMARAES, M. **The CO₂ uptake of concrete in a 100 year perspective**. *Cement and Concrete Research*, p. 1384-1356, 2007. ISSN 10.1016/j.cemconres.2007,06,09
- [9] XI, F. et al. **Substantial Global Carbon Uptake by Cement Carbonation**. *Nature Geoscience*, Novembro 2016. ISSN 10.1038/NGEO2840
- [10] POSSAN, E.; FELIX, E. F.; THOMAZ, W. A. **Metodologia para estimativa da captura de CO₂ devido à carbonatação do concreto**. In: _____ *Estudos Ambientais*. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, v. 4, 2017. p. 17-29.
- [11] SAVIJA, B.; LUKOVIC, M. **Carbonation of cement paste: Understanding, challenges, and opportunities**. *Construction and Building Materials*, v. 117, p.285-301, 2016.
- [12] GANDÍA-ROMERO, J.M.; CAMPOS, I.; VALCUENDE, M.; GARCÍA-BREIJO, E.; MARCOS, M.D.; PAYÁ, J.; SOTO, J. **Potentiometric thick-film sensors for measuring the pH of concrete**. *Cement and Concrete Composites*, v. 68, p.66-76, 2016.
- [13] CHUN, Yoon-moon; NAIK, Tarun R.; KRAUS, Rudolph N. **Carbon dioxide sequestration in concrete in different curing environments**. In: *Proceedings of the Coventry University International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, Coventry. 2007. p. 18-24.
- [14] PAULETTI, Cristiane. **Estimativa da carbonatação natural de materiais cimentícios a partir de ensaios acelerados e de modelos de predição**. 2009.
- [15] VAN GERVEN, T. et al. **Effects of carbonation and leaching on porosity in cement-bound waste**. *Waste Management*, v. 27, p. 977-985, 2007. ISSN 10.1016/j.wasman.2006.05.00.
- [16] LAGERBLAD, B. **Carbon dioxide uptake during concrete life cycle - State of the art**. Swedish Cement and Concrete Research Institute. Estocomo. 2005.
- [17] NAIK, T.R., KUMAR, R. **Global warming and cement-based materials**. UWM Center for ByProducts Utilization.

Second International Conference on Sustainable Constructions Materials and Technologies, Ancona, Italy, June 2010

- [18] JACOBSEN, S., JAHREN, P. **Binding of CO₂ by Carbonation of Norwegian OPC Concrete**. CANMET/ACI International Conference on Sustainability and Concrete Technology, Lyon, 2002.
- [19] GAJDA, J. **Absorption of Atmospheric Carbon Dioxide by Portland Cement**. PCA, Chicago, Serial no. 2255, 2001
- [20] GALAN, I. et al. **Sequestration of CO₂ by concrete carbonation**. Environmental Science & Technology, p. 3181–3186, 2010
- [21] PESSUTTO, Daniele de Lima Thomaz. **Captura de CO₂ em produtos cimentícios: o efeito do teor de fíler**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [22] STEWART, Ian D.; OKE, Tim R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012.
- [23] MARSILIO, M.; CAPPELLARO, G.; et al. **The intellectual structure of research into PPPs: A bibliometric analysis**. Public Magement Review, v. 13, pp. 763–782, 2011.
- [24] CHADEGANI, A.A.C., SALEHI, H. et al. **A Comparison between Two Main Academic Literatura Collections: Web of Science and Scopus Darabases**. Asian social science, v. 9, 2013.
- [25] VAN ECK, N.J., WALTMAN, L., **Visualizing bibliometric networks. Measuring scholarly impact: methods and practice**, p. 285-320, 2014.

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade

USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

CARDOZO, Leticia Gabrielle Esteves¹; RESENDE, Daiany Cristina Costa²;

¹ Universidade Federal de São João Del-Rei - UFSJ, Ouro Branco-MG, Brasil, leticia.esteves15@outlook.com, n° do ORCID 0000-0003-2815-5285

² Universidade Federal de São João Del-Rei - UFSJ, Ouro Branco-MG, Brasil, daiany.resende@yahoo.com.br, n° do ORCID 0000-0002-0556-8872

RESUMO

Os resíduos gerados pelo setor da construção causam grandes impactos ambientais, devido a isso, a busca por soluções que empregam materiais de construção sustentáveis são cada vez mais valorizadas. Portanto, a realização deste estudo, vem com o intuito de analisar a viabilidade e os benefícios da aplicação dos resíduos de construção em misturas de solo-cimento para a confecção de tijolos, através da realização de ensaios experimentais e apresentação de resultados, desde a caracterização do resíduo de construção civil e do solo utilizado, aos ensaios de resistência à compressão e absorção de água em corpos de prova cilíndricos, com diferentes dosagens nas composições das misturas estudadas. Foram realizados dois traços para a composição da mistura solo mais resíduo, sendo o primeiro composto por 25% de solo e 75% de resíduo e o segundo por 30% de solo e 70% de resíduo, variando o teor de cimento de 10% a 12% na mistura. Assim, os resultados obtidos dos ensaios de absorção e resistência confirmaram a viabilidade da incorporação do resíduo de construção civil na mistura de solo-cimento. A partir dos ensaios foi possível concluir que a mistura de 25% de solo mais 75% de resíduo apresentou o resultado mais interessante por possuir um menor valor de absorção de água, além de possuir a segunda maior resistência encontrada.

Palavras-chave: Resíduo de Construção; Tijolo solo-cimento; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The waste generated by the construction sector causes great environmental impacts, due to this, the search for solutions that use sustainable construction materials are increasingly valued. Therefore, this study aims to analyze the feasibility and benefits of applying construction waste in soil-cement mixtures for the manufacture of bricks, through experimental tests and presentation of results, from the characterization from civil construction waste and used soil, to compressive strength tests and water absorption in cylindrical specimens, with different dosages in the compositions of the studied mixtures. Two traces were made for the composition of the soil plus residue mixture, the first being composed of 25% of soil and 75% of residue and the second of 30% of soil and 70% of residue, varying the cement content from 10% to 12% in the mix. Thus, the results obtained from the absorption and resistance tests confirmed the feasibility of incorporating civil construction waste into the soil-cement mixture. From the tests it was possible to conclude that the mixture of 25% of soil plus 75% of residue presented the most interesting result for having a lower value of water absorption, in addition to having the second highest resistance found.

Keywords: Construction waste; Soil-cement brick; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil desempenha um papel de grande importância no desenvolvimento econômico de um país. Em contrapartida, é também responsável pela geração de elevadas quantidades de resíduos que afetam negativamente o meio ambiente. Em decorrência disso, as questões que envolvem o aproveitamento de resíduos e a preservação ambiental, tem assumido um papel de destaque na engenharia, como por exemplo, a aplicação do resíduo de construção civil na fabricação de tijolos de solo-cimento.

De acordo com Trevisan [1], os tijolos de solo-cimento, também chamados de tijolos ecológicos, são provenientes da mistura homogênea do solo, cimento e água em proporções adequadas, que depois de prensados são curados à sombra, contribuindo assim, para a agilidade nas obras, redução de danos ambientais e de custos. Segundo Aguiar *et al.* [2], os tijolos de solo-cimento permitem ainda adição de fibras vegetais, resíduos industriais, agroindustriais e de mineração, entre outros, de forma à garantir melhores propriedades e colaborar para a sustentabilidade.

A incorporação dos resíduos de construção se mostra viável, devido ao fato do material apresentar características semelhantes a de uma areia grossa após passar pelo processo de britagem. Conforme exposto por Segantini e Wada [3], os solos com características arenosas são os mais indicados para se utilizar na composição solo-cimento, permitindo alcançar valores de resistência mais adequados. Além disto, a utilização dos resíduos permite a redução do consumo de cimento na confecção dos tijolos.

Ainda segundo Segantini e Wada [3], o emprego dos tijolos de solo-cimento em construções podem proporcionar uma economia de 30% a 40% no custo final de uma obra. Também é interessante ressaltar que, segundo Santana *et al.* [4], a cada 1000 tijolos de solo-cimento produzidos cerca de 2,5m³ de resíduos de construção civil acabam sendo reincorporados no processo produtivo de sua fabricação.

Portanto, ao se perceber a importância e a necessidade de se atribuir uma nova destinação ao resíduo de construção civil e demolição, a realização deste trabalho vem com o intuito de analisar os benefícios de sua aplicação na confecção de tijolos solo-cimento.

2. METODOLOGIA

Será apresentado a seguir os materiais utilizados no desenvolvimento desta pesquisa, assim como os métodos empregados para realização dos ensaios e para as análises dos resultados. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção e no Laboratório de Mecânica dos Solos do Curso de Engenharia Civil, no Campus Alto Paraopeba da Universidade Federal de São João Del-Rei – UFSJ.

2.1 Materiais

i. Solo

O solo utilizado durante a pesquisa foi obtido no Bairro São Francisco da cidade de Ouro Branco – MG.

ii. Resíduos de construção civil

O resíduo de construção foi proveniente da empresa pública de reciclagem de entulhos da prefeitura da cidade de Belo Horizonte – MG. O material foi adquirido em uma das Estações de Reciclagem de Entulho, que tem como objetivo transformar os resíduos de construção e demolição, em agregados reciclados para substituição da brita e areia na construção civil.

iii. Cimento

Foi utilizado o cimento Portland Composto com escória CP II-E-32, que tem como característica uma secagem rápida, além de maiores resistências iniciais e finais.

iv. Água

Para realização dos ensaios foi utilizada a água potável da rede de abastecimento do Campus Alto Paraopeba – UFSJ.

2.2 Métodos

i. Caracterização do resíduo de construção civil

A caracterização do resíduo foi de acordo com os critérios presentes nas normas brasileiras, como apresentado a seguir:

- Preparação do resíduo para os ensaios conforme as recomendações da NBR 9941 [5], sendo utilizado o separador do Método A de amostra para redução de perdas do material;
- Determinação da composição granulométrica do resíduo conforme NBR 7217 [6] (Figura 1a);
- Para determinação da massa específica do resíduo, que possui características de agregado miúdo, foi utilizada a NBR 9776 [7] do método Frasco de Chapman (Figura 1b);
- Determinação da massa unitária segundo a NBR 7251 [8];
- Também foi realizado a determinação da massa específica pela NBR 6508 [9] destinada aos grãos de solo, para realização de um comparativo de resultados.



Figura 1 – Caracterização do resíduo: (a) Ensaio de granulometria; (b) Ensaio de massa específica.

ii. Caracterização do solo

A caracterização do solo prosseguiu segundo os critérios das normas brasileiras, conforme a seguir:

- Preparação da amostra para realização dos ensaios segundo as recomendações da NBR 6457 [10];
- Determinação da massa específica dos sólidos segundo a NBR 6508 [9] (Figura 2a);
- Também foi realizado a determinação da massa unitária do solo, embasando-se nos procedimentos descritos pela NBR 7251 [8];
- Determinação dos limites de consistência para caracterização do solo quanto a sua plasticidade. Utilizou-se a norma NBR 6459 [11] para determinação do limite de liquidez, e NBR 7180 [12] para determinar o limite de plasticidade;
- Determinação da constituição granulométrica do solo segundo NBR 7181 [13], realizada através do processo de peneiramento e de sedimentação para obtenção da curva granulométrica;
- Ensaio de compactação para determinação da massa específica aparente seca máxima do solo e teor de umidade ótima, segundo a NBR 7182 [14] (Figura 2b).



Figura 2 – Caracterização do solo: (a) Ensaio de massa específica; (b) Ensaio de compactação.

iii. Determinação da dosagem de solo com resíduo

Na definição do traço para as misturas de solo com resíduo, levou-se em consideração o conceito de que a presença elevada de características arenosas no material são as mais adequadas para confecção de tijolos de solo-cimento. Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) [15], as características mais adequadas para o solo são: 100% dos grãos passando na peneira 4,8 mm (n^o4); 10% a 50% dos grãos passando na peneira 0,075 mm (n^o200); limite de liquidez menor ou igual a 45%; índice de plasticidade menor ou igual a 18%.

Desse modo, após análises dos resultados obtidos nos ensaios de composição granulométrica do solo e do resíduo, foram adotados inicialmente dois traços de mistura: 25% de solo mais 75% de resíduo, e 30% de solo mais 70% de resíduo. Para cada composição foram confeccionados três corpos de prova cilíndricos no ensaio de compactação, para determinação do teor de umidade ótima e da massa específica aparente seca, conforme os procedimentos da NBR 7182 [14].

iv. Determinação da dosagem de solo-cimento com resíduo

O teor de cimento foi definido embasando-se na Norma Simplificada de Dosagem do Solo-cimento estabelecida pela ABCP [15], que especifica a quantidade adequada de cimento para estabilização do solo de acordo com suas características físicas. Como o material é proveniente da combinação de solo mais resíduo de construção, foi possível atender aos critérios para utilização deste método de dosagem, sendo empregado o Método A da norma simplificada, por ser um material que passa pela peneira 4,8 mm. Possibilitando o uso do ábaco da Figura 3, para estimar o teor de cimento a ser empregado em cada mistura, em função da porcentagem de silte mais argila e da massa específica aparente seca.

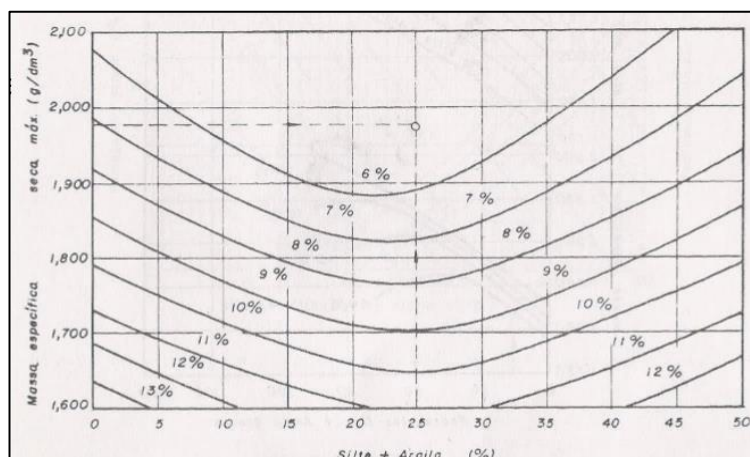


Figura 3 – Método da ABCP: Ábaco do teor de cimento [16].

Após isto, foi realizado o ensaio de compactação da mistura solo-cimento com resíduo, embasando-se no Ensaio de Compactação de Solo-cimento descrito pela ABCP [15], método análogo ao ensaio de compactação da NBR 7182 [14]. Desse modo, três corpos de prova foram moldados para cada mistura, com o teor da umidade ótima determinado no ensaio de compactação da mistura de solo com resíduo. E, permanecendo por 7 dias de cura na câmara úmida para realização do ensaio de resistência à compressão.

v. Determinação resistência à compressão dos corpos de prova

A determinação da resistência dos corpos de prova preparados embasou-se no Ensaio à Compressão de Corpos de Prova de Solo-cimento descrito pela ABCP [15], conforme Figura 4. Entretanto, com o intuito de obter as resistências em sua condição ambiente, os corpos de prova não foram imersos em água antes de serem submetidos ao ensaio.



Figura 4 – Ensaio de resistência: (a) Antes; (b) Depois.

Através dos resultados foi verificado, em função da porcentagem de silte mais argila e da resistência encontrada, se os corpos de prova atenderiam a resistência média à compressão mínima admissível aos 7 dias, conforme Figura 5. Caso a resistência obtida for inferior à mínima, indicando que o teor de cimento empregado não é adequado para mistura, o teor deve ser aumentado. Ao contrário, se resistência obtida for superior, o teor de cimento pode ser adotado, possibilitando também, a realização de novos ensaios com o intuito de testar outros teores de cimento, sendo inferiores ao empregado inicialmente nas misturas.

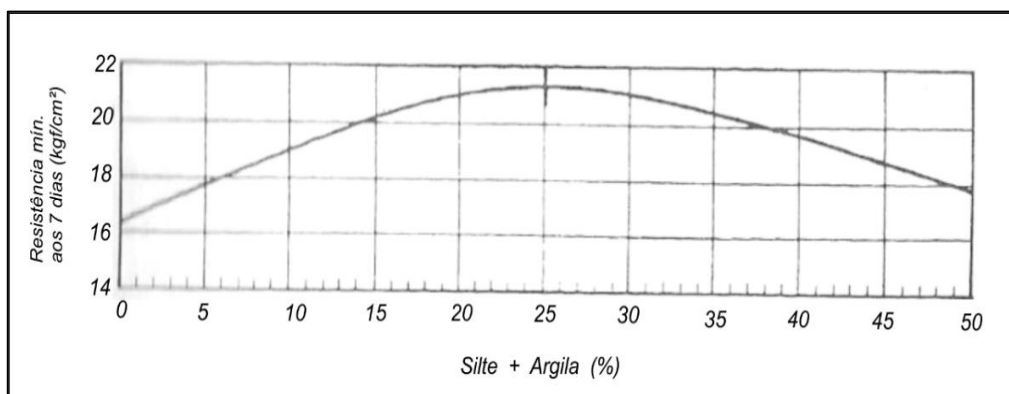


Figura 5 – Método da ABCP: Ábaco da resistência mínima admissível aos 7 dias [16].

vi. Determinação da absorção de água

Dentre os corpos de prova ainda disponíveis, foram retiradas três amostras para realização do ensaio de absorção de água, conforme os procedimentos da NBR 13555 [17], que recomenda que os tijolos de solo-cimento não devem apresentar uma absorção superior ao valor de 20%.

As amostras de cada mistura foram colocadas na estufa para que secassem por um dia. Após realização da pesagem, as amostras permaneceram imersas em água por mais um dia, para que fossem retiradas e passassem por uma secagem superficial antes da aferição de seu peso saturado. O resultado da absorção de água é dado em porcentagem, entre a relação do peso seco e do peso saturado da amostra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do solo e do resíduo

i. Resíduo

Os resultados obtidos na caracterização são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados da caracterização do resíduo.

| Características verificadas | Valor |
|---|-------|
| Peso do material disponível (kg): | 31,21 |
| Massa unitária (kg/dm ³): | 1,33 |
| Massa específica – Frasco Chapman (g/cm ³): | 2,45 |
| Massa específica (g/cm ³): | 2,86 |
| Massa específica média (g/cm ³): | 2,65 |

Os valores da massa específica obtidos em ambos os métodos não apresentaram diferenças elevadas entre si, possibilitando ainda, determinar uma massa específica média de 2,65 g/cm³.

A Figura 6 mostra a curva granulométrica obtida nos ensaios. O resíduo de construção apresentou um módulo de finura igual a 3,30 conforme NBR 7217 [18]. E através da NBR 9935 [19], pode-se classificar o resíduo como um agregado miúdo, pois se trata de um material granular que tem ao menos 95% de seus grãos passando na peneira 4,8 mm.

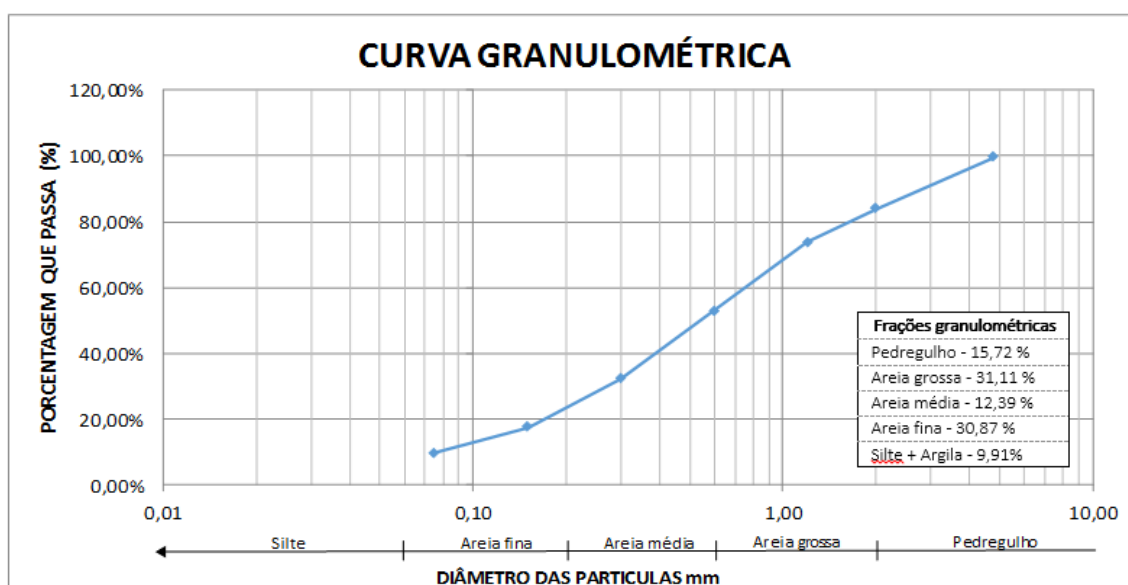


Figura 6 – Curva granulométrica do resíduo de construção.

ii. Solo

Os resultados da caracterização são apresentadas na Tabela 2. O solo foi classificado como argiloso, enquadrando-se no grupo A-7 segundo a classificação da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO).

Tabela 2 – Resultados da caracterização do solo.

| Características verificadas | Valor |
|--|-------|
| Massa unitária (kg/dm ³): | 1,03 |
| Massa específica (g/cm ³): | 2,93 |
| Limite de liquidez – LL (%): | 48,53 |
| Limite de plasticidade – LP (%): | 22,13 |
| Índice de plasticidade – IP (%): | 26,40 |

Analisando os resultados da Tabela 2, têm-se a conclusão de que o solo sozinho não atende aos critérios recomendados pela ABCP [15], de possuir um valor do limite de liquidez (LL) inferior a 40% e um índice de plasticidade (IP) inferior a 18%, para ser empregado em uma mistura solo-cimento.

O solo também não apresenta uma porcentagem de grãos inferior a 50% passando na peneira de 0,075 mm, sendo esta aproximadamente de 72%. Como pode ser verificado em sua curva granulométrica mostrada na Figura 7.

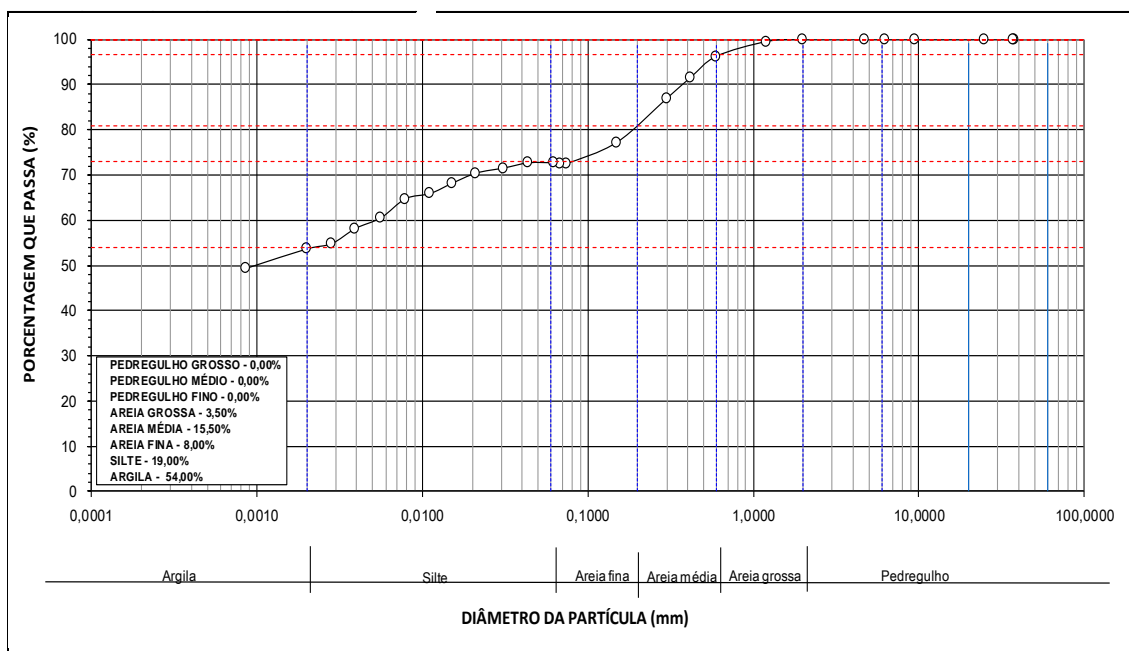


Figura 7 – Curva granulométrica do solo.

Foi constatado que o solo apresentava mais da metade de sua composição granulométrica composta por grãos de argila, e cerca de apenas 27% de grãos de areia, sendo este um valor não adequado para confecção de tijolos de solo-cimento. Mostrando assim, mais um indicativo válido para a mistura entre o solo e o resíduo de construção, com intuito de elevar as características arenosas do material a ser empregado na confecção de tijolos de solo-cimento.

Também foi realizado o ensaio de compactação do solo, permitindo encontrar um valor de 15,17 kN/m³ para o peso específico aparente seco máximo, e um valor de 25,30% de umidade ótima para compactação.

3.2 Mistura do solo com resíduo

Através dos resultados da composição granulométrica do solo e do resíduo de construção, foi possível determinar a quantidade existente de areia e de silte mais argila nas duas misturas, sendo compostas por: 25% de solo mais 75% de

resíduo, e 30% de solo mais 70% de resíduo, conforme Tabela 3. Ocasionalmente assim, em um aumento considerável das características arenosas do material.

Tabela 3 – Composição das misturas.

| Material | Areia (%) | Silte+Argila (%) |
|---------------------------------|-----------|------------------|
| Resíduo de construção: | 74,37 | 9,91 |
| Solo: | 27,00 | 73,00 |
| Mistura 25% Solo + 75% Resíduo: | 62,53 | 25,68 |
| Mistura 30% Solo + 70% Resíduo: | 60,16 | 28,84 |

Na Figura 8 são apresentadas as curvas de compactação das misturas.

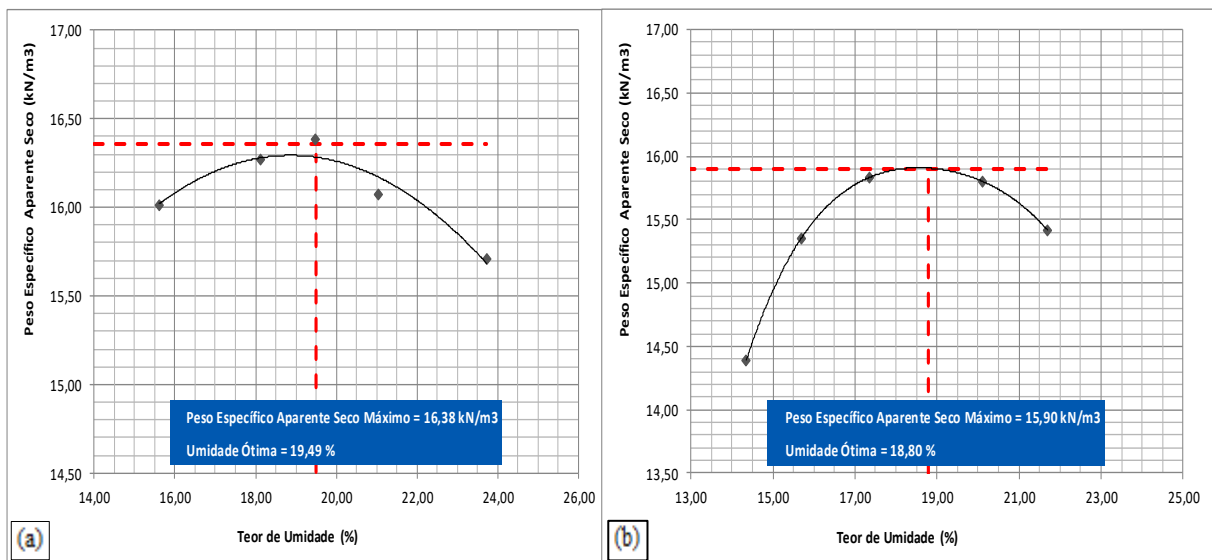


Figura 8 – Curva de compactação: (a) Mistura 25% Solo + 75% Resíduo; (b) Mistura 30% Solo + 70% Resíduo.

Assim, foi encontrado para a mistura 25% Solo + 75% Resíduo um peso específico aparente seco de 16,38 kN/m³ e uma umidade ótima de 19,49% (Figura 8a). E para mistura de 30% Solo + 70% Resíduo, um valor de 15,90 kN/m³ para o peso específico aparente seco e uma umidade ótima 18,80% (Figura 8b).

3.3 Mistura de solo-cimento com resíduo

O teor de cimento foi estimado em 11% para a mistura 25% Solo + 75% Resíduo, enquanto que para a outra mistura, de 30% Solo + 70% Resíduo, obteve-se um teor de 12% de cimento, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Informações das misturas.

| Parâmetros | Mistura 25% Solo + 75% Resíduo | Mistura 30% Solo + 70% Resíduo |
|---|--------------------------------|--------------------------------|
| Quantidade da mistura (g): | 3000 | 3000 |
| Teor de umidade (%): | 19,50 | 18,80 |
| Específico aparente seco máximo (kN/m ³): | 16,38 | 15,90 |
| Areia (%): | 62,53 | 60,16 |
| Silte+Argila (%): | 25,68 | 28,84 |
| Teor de cimento (%): | 11 | 12 |
| Quantidade de cimento (g): | 330 | 360 |
| Quantidade total (g): | 3330 | 3360 |

3.4 Resistência à compressão dos corpos de prova

Foi definido um valor de 21 kgf/cm² (2,1 MPa) para resistência média à compressão mínima admissível aos 7 dias, como um parâmetro para que os corpos de prova atendessem aos critérios da ABCP [15].

Os resultados do ensaio para os corpos de prova são informados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resistência à compressão.

| Parâmetros | Mistura 25% Solo + 75% Resíduo | | | Mistura 30% Solo + 70% Resíduo | | |
|--|--------------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Corpo de prova: | | | | | | |
| Área média (cm ²): | 78,54 | 78,54 | 78,54 | 78,54 | 78,54 | 78,54 |
| Carga de ruptura (tf): | 2,96 | 2,61 | 2,43 | 2,12 | 2,88 | 2,45 |
| Resistência à compressão (kgf/cm ²): | 37,69 | 33,23 | 30,94 | 26,99 | 36,67 | 31,90 |
| Resistência à compressão média (MPa) | 3,39 | | | 3,16 | | |

Dentre as resistências médias obtidas, a mistura 25% Solo + 75% Resíduo apresentou o melhor resultado. Ressalta-se ainda, que as resistências encontradas foram cerca de 10 kgf/cm² (1 MPa) acima da mínima admissível, sendo um resultado bastante satisfatório, e que comprova o emprego do resíduo de construção nas misturas de solo-cimento para confecção de tijolos.

Contudo, se então compararmos os resultados obtidos com as especificações da NBR 8491 [20] destinada aos tijolos maciços de solo-cimento, temos que a resistência média não pode ser inferior a 2,0 MPa (20,0 kgf/cm²), sendo que os valores individuais não devem ser inferiores a 1,7 MPa (17,0 kgf/cm²). Assim, apesar das dimensões dos corpos de prova diferirem da geometria de um tijolo maciço, os resultados em relação a resistência à compressão ainda são satisfatórios.

Diante desses resultados de resistência superiores a mínima admissível, foram realizados novos ensaios com material das misturas ainda disponíveis, com a redução do teor de cimento para 10%. As resistências obtidas para o novo teor são apresentados nas Tabela 6.

Tabela 6 – Resistência à compressão com novo teor de cimento.

| Parâmetros | Mistura 25% Solo + 75% Resíduo | | | Mistura 30% Solo + 70% Resíduo | | |
|--|--------------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
| | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Corpo de prova: | | | | | | |
| Área média (cm ²): | 78,54 | 78,54 | 78,54 | 78,54 | 78,54 | 78,54 |
| Carga de ruptura (tf): | 2,91 | 2,87 | 2,28 | 2,92 | 2,84 | 2,53 |
| Resistência à compressão (kgf/cm ²): | 37,05 | 36,54 | 29,03 | 37,18 | 36,16 | 32,21 |
| Resistência à compressão média (MPa) | 3,41 | | | 3,52 | | |

Apesar da redução no teor de cimento nas misturas, os valores das resistências médias obtidas continuaram sendo superiores a mínima admissível. Mas, entre as resistências médias, a mistura de 30% Solo + 70% Resíduo apresentou o melhor resultado de resistência à compressão.

E ainda, se compararmos com as especificações da NBR 8491 [20], temos que os resultados continuam sendo satisfatórios, possibilitando o emprego dessas misturas para a confecção de tijolos de solo-cimento.

3.5 Absorção de água

Os valores obtidos para absorção de água são apresentados na Tabela 7. De acordo com a NBR 13555 [17], os valores de absorção média não devem ser superiores a 20%.

Tabela 7 – Resultados para absorção de água.

| Mistura | Teor de cimento (%) | Absorção (%) |
|-------------------------|---------------------|--------------|
| 25% Solo + 75% Resíduo: | 11 | 18,32 |
| | 10 | 18,20 |
| 30% Solo + 70% Resíduo: | 12 | 18,72 |
| | 10 | 18,79 |

Assim, temos que os resultados encontrados são satisfatórios para todas as composições. Os valores foram relativamente próximos, sendo inferiores ao limite estabelecido pela norma, mostrando ainda que as misturas com maior porcentagem de solo apresentaram os valores de absorção mais elevados.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho de pesquisa foi desenvolvido em torno de uma alternativa sustentável para a reutilização dos resíduos de construção civil, através de seu emprego em tijolos de solo-cimento. Por meio da realização de ensaios experimentais e da análise dos resultados das misturas estudadas, referentes a absorção de água e da resistência à compressão, foi confirmado a viabilidade da incorporação dos resíduos em misturas de solo-cimento.

Assim, diante da avaliação dos valores obtidos de absorção e de resistência à compressão, podemos destacar que a mistura de 25% de solo mais 75% de resíduo, apresentou o resultado mais interessante por possuir um menor valor de absorção de água, o que diminui o risco de patologias ocasionadas pela umidade, além de possuir a segunda maior resistência encontrada. Permitido assim, concluir que essa dosagem seria a mais adequada para confecção dos tijolos dentre as estudadas.

Contudo, os resultados ainda demonstraram a possibilidade da realização de mais reduções no teor de cimento utilizado nas misturas, visando a redução de custos para a confecção dos tijolos de solo-cimento. Reforçando ainda, que o emprego dos resíduos de construção civil nas misturas de solo-cimento são uma alternativa viável, apresentando valores de resistências que atendem as referências normativas pertinentes ao assunto.

REFERÊNCIAS

- [1] TREVISAN, M. D. **Aplicação de solo-cimento em obras de engenharia: estudo de caso**. 2017. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.
- [2] AGUIAR, B. et al. **Materiais de Construção Sustentáveis**, vol. 1. 828 f. Universidade do Minho, Março de 2014.
- [3] SEGANTINI, A. A. S.; WADA, P. H. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum. Technology**, vol. 33, núm. 2, p. 179-183, 2011.
- [4] SANTANA, S. J. et al. Tijolo Ecológico versus Tijolo Comum: benefícios ambientais e economia de energia durante o processo de queima. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2013, Salvador - BA. Mato Grosso. **Resumo dos Trabalhos**. IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2013.
- [5] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9941: **Agregados – Redução da amostra de campo para ensaio de laboratório**. Rio de Janeiro, 1986a.
- [6] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987a.
- [7] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776: **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1987b.
- [8] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251: **Agregados – Agregados em estado solto determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 1986b.

- [9] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: **Solo – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 1984a.
- [10] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: **Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 1984b.
- [11] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: **Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 1984c.
- [12] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: **Solo – Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 1984d.
- [13] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: **Solo – Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 1984e.
- [14] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: **Solo – Ensaio de compactação.** Rio de Janeiro, 1986c.
- [15] ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento: Normas de dosagem e métodos de ensaios (ET – 35).** 3ª ed. 57 p. São Paulo: ABCP, 2004.
- [16] CRISPIM, F. A. **Técnicas de Melhoramento de Solos: Solo-cimento.** Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, 2015.
- [17] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13555: **Solo-cimento – Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 1996.
- [18] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217: **Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987c.
- [19] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935: **Agregados – Termologia.** Rio de Janeiro, 1987d.
- [20] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: **Tijolo maciço de solo-cimento – Requisitos.** Rio de Janeiro, 1984f.

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DE MÁSCARA E DIFERENTES LIGANTES

VELOSO, Julio^{1,2}; BELLEI, Poliana^{2,3}; MENDES, Maria Paula³; FLORES-COLEN, Inês^{2,3}

¹ Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, julioveloso@usp.br

² DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, poliana.bellei@tecnico.ulisboa.pt, ines.flores.colen@tecnico.ulisboa.pt; ORCID: 0000-0001-9680-1870; 0000-0003-4038-6748

³ CERIS, IST-ID, Universidade de Lisboa, mpaulamendes@tecnico.ulisboa.pt; Lisboa, Portugal, ORCID 0000-0001-9451-2266

RESUMO

No sentido de contribuir para uma construção mais sustentável e para a redução da quantidade de resíduos de plástico em aterro ou incineração, o objetivo principal desse trabalho foi promover a reciclagem de máscaras cirúrgicas usadas durante a pandemia, através da sua incorporação em argamassas produzidas com diferentes ligantes (cimento, cal hidráulica e gesso). Os resíduos da máscara foram triturados e caracterizados antes de serem utilizados. As argamassas foram produzidas com diferentes traços de água:ligante e percentagens de substituição de agregados ou ligante por resíduo de máscara. Foram realizados ensaios para aferição da consistência e massa volúmica no estado fresco e ensaios mecânicos nos provetes no estado endurecido, assim como a avaliação da massa volúmica e de condutibilidade térmica. As misturas que incorporaram resíduo de máscara em sua composição mostraram uma diminuição de resistência, principalmente nas argamassas de cal hidráulica e cimento. Não obstante, quase todos os resultados estão dentro dos valores que as normas indicam para estas argamassas serem utilizadas na construção para diferentes classes de resistência. Cada vez mais é necessário desenvolver materiais de construção ambientalmente sustentáveis, como compósitos com incorporação de resíduos reciclados.

Palavras-chave: sustentabilidade; resíduos plásticos; máscaras; argamassas.

ABSTRACT

To contribute to a more sustainable construction and to reduce the amount of plastic waste in landfill or incineration, the aim of this work was to promote the recycling of used surgical masks during the pandemic, through their incorporation into mortars produced with different binders (cement, hydraulic lime and gypsum). Mask residues were grinded and characterized before use. The mortars were produced with different water:binder ratios and percentages of raw material replacement by mask residue. Tests were carried out to assess the consistency and density in the fresh state and mechanical tests on the specimens in the hardened state, as well as the evaluation of the density and thermal conductivity. The mixtures that incorporated mask residue in their composition showed a decrease in strength, mainly in hydraulic lime and cement mortars. Nevertheless, almost all the results are within the values that the standards indicate for these mortars to be used in construction for different resistance classes. It is increasingly necessary to develop environmentally sustainable building materials, such as composites incorporating recycled waste.

Keywords: sustainability; plastic wastes; masks; mortars.

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência da pandemia de COVID-19 trouxe novos e diversos desafios para a população mundial, tanto no âmbito da saúde, quanto em aspectos económicos, sociais e ambientais. Do ponto de vista ambiental, o descarte diário de milhões de máscaras cirúrgicas, constituídas por polímeros sintéticos, apresenta grave ameaça para os ecossistemas terrestres e aquáticos. Os resíduos plásticos também podem contribuir para o aumento de gases com efeito de estufa como o metano e o etileno [1].

Kilmartin-Lynch *et al.* [2] avaliaram os impactos da adição de fibras de máscaras descartáveis em betões e mostraram um aumento nas suas propriedades de resistência para uma taxa de incorporação ótima. Outros estudos também indicam o impacto positivo da aplicação de fibras de polipropileno (PP) nas propriedades mecânicas de betões e argamassas de diversos tipos, como os trabalhos realizados por Nili e Afroughsabet [3], Martínez-Lópes *et al.* [4], Romero Gómez *et al.* [5] e Barbero-Barrera *et al.* [6].

O projeto ReDuCe nasce com o intuito de propor a reutilização das máscaras descartáveis em materiais de construção para diversas aplicações, como argamassas não estruturais, possibilitando a utilização destes resíduos à escala industrial. Este artigo é parte dos estudos iniciais do projeto ReDuCe, onde são apresentados os resultados experimentais sobre a viabilidade e os efeitos de incorporação de resíduos de máscaras descartáveis em argamassas de revestimento de gesso, cal hidráulica e cimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O resíduo de máscara utilizado na pesquisa foi, primeiramente, submetido à moagem em equipamento RETSCH SM 2000, de forma a possibilitar sua incorporação em argamassas. Os ensaios realizados incluíram a caracterização dos materiais, a produção das argamassas e a análise do seu comportamento (fresco e endurecido). Os ligantes utilizados foram: gesso fragado controlado B1, cal hidráulica NHL 3,5 e cimento Portland CEM I 42,5 R. Como agregado miúdo, foi utilizada areia natural com granulometria calibrada e ajustada pela norma NP EN 933-1 [7], e água da rede pública. O resíduo de máscara foi incorporado nas misturas de duas maneiras: em condição seca e saturada.

2.1 Caracterização do agregado e do resíduo de máscara

Para compreender algumas características dos materiais utilizados na produção das argamassas, procedeu-se à realização de ensaios de baridade, massa volúmica e absorção de água do agregado e do resíduo.

O ensaio de baridade foi feito segundo a norma NP-EN 1097-3 [8], e para obter os dados de massa volúmica e absorção de água, adotaram-se os procedimentos da norma NP-EN 1097-6 [9]. Como o comportamento do resíduo possui diferenças significativas face aos agregados convencionais, foi necessário adotar um procedimento para a obtenção do resíduo saturado com superfície seca. Desta forma, após 24 horas de imersão em água, como prevê a norma [9], optou-se por retirar o excesso de água em peneiro (0,63 mm), seguido da secagem da superfície do resíduo com toalha descartável. Também se recorreu ao mesmo método quando o resíduo foi incorporado nas argamassas no seu estado saturado. A Figura 1 ilustra o resíduo moído utilizado na produção das argamassas.



Figura 1 – Resíduo de máscara moído

Apresentam-se na Tabela 1 os resultados obtidos nos ensaios de caracterização do agregado e do resíduo de máscara.

Tabela 1 - Caracterização do agregado e do resíduo de máscara

| Material | Baridade (kg/m ³) | Massa volúmica (kg/m ³) | Absorção de água (%) |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Agregado Natural | 1460,0 | 2615,0 | 0,5 |
| Resíduo de máscara | 109,4 | 296,0 | 289,2 |

A partir dos resultados obtidos, observa-se que as fibras de máscara possuem um valor relativamente baixo de baridade e massa volúmica, indicando que a substituição de outros componentes das argamassas por este resíduo poderá alterar significativamente, entre outros, os valores de resistência mecânica e condutibilidade térmica.

Nota-se também que o resíduo apresenta uma elevada absorção de água, o que pode afetar as quantidades de água necessária para manter as características de trabalhabilidade e tempo de presa das argamassas. É importante evidenciar as dificuldades encontradas em delimitar um processo para obter o resíduo saturado com superfície seca, já que a técnica para agregados não se aplica ao resíduo em estudo.

2.2 Produção das argamassas

Todas as argamassas foram produzidas segundo a norma CEN-EN 1015-2 [10]. Para as argamassas de gesso e cal hidráulica, a incorporação do resíduo fez-se nos estados seco e saturado, de forma a se poder avaliar o efeito da absorção de água pelo resíduo na argamassa, as modificações na trabalhabilidade, e efeitos posteriores na resistência à compressão.

No caso das argamassas de gesso, a argamassa referência foi efectuada apenas com ligante e água (conforme o estudo de Romero Gomez et al. [5]), e substituiu-se parte do gesso pelo resíduo de máscara, para reduzir a quantidade de ligante na argamassa, comportando-se o resíduo como agregado na mistura. Para as argamassas de cal hidráulica, realizou-se a substituição tanto no ligante quanto no agregado, por resíduo de máscara. Por fim, para as argamassas de cimento, optou-se por substituir apenas o agregado pelo resíduo, no sentido de incorporar a maior quantidade possível de material reciclado. Todas as percentagens de substituição, tanto do ligante quanto do agregado, foram feitas em massa.

O traço volumétrico entre ligante e agregado para as argamassas de cal hidráulica foi fixado em 1:3, de acordo com o estudo realizado por Bellei, et al. [11]. As argamassas de cimento foram produzidas no traço volúmico 1:4, também utilizado por Travincas et al. [12], para efeitos de comparação. Para as argamassas com substituição do ligante pelo resíduo, preservou-se as relações água/ligante da argamassa referência, visto que as quantidades de resíduo incorporado são menores e, por isso, foi possível produzir tais argamassas com traços semelhantes às suas respectivas referências. No caso de argamassas com substituição do agregado, ajustou-se a relação água/ligante por meio do ensaio de consistência, de forma a preservar as condições de trabalhabilidade destas argamassas.

A Tabela 1 identifica cada argamassa produzida e apresenta os dados referentes às substituições realizadas, assim como as relações água/ligante obtidas.

Tabela 1 - Identificação e dados das argamassas produzidas

| Argamassa | Ligante | Tipo de substituição | Estado do resíduo na mistura | % de substituição | Relação água/ligante (a/l) |
|-----------|----------------|----------------------|------------------------------|-------------------|----------------------------|
| GA | Gesso | Ligante | - | 0,0 | 0,65 |
| 2,5-GASC | | | Seco | 2,5 | 0,65 |
| 2,5-GAST | | | Húmido | 2,5 | 0,65 |
| 5 - GAST | | | Húmido | 5,0 | 0,65 |
| 5-GASCr | | | Seco | 5,0 | 0,60 |
| 5-GASTr | | | Húmido | 5,0 | 0,60 |
| 7,5-GASC | | | Seco | 7,5 | 0,65 |
| 7,5-GAST | | | Húmido | 7,5 | 0,65 |
| 10-GASC | | | Seco | 10,0 | 0,65 |
| 10-GAST | | | Húmido | 10,0 | 0,65 |
| CH | Cal Hidráulica | Ligante | - | 0,0 | 0,95 |
| 2,5-CHSC | | | Seco | 2,5 | 0,95 |
| 2,5-CHST | | | Húmido | 2,5 | 0,95 |
| 5-CHST | | | Húmido | 5,0 | 0,95 |
| 2,5-CHSCA | | | Agregado | Seco | 2,5 |
| 2,5-CHSTA | Húmido | 2,5 | | 1,10 | |
| 5-CHSCA | Seco | 5,0 | | 2,00 | |
| 5-CHSTA | Húmido | 5,0 | | 1,30 | |
| CM | Cimento | Agregado | - | 0,0 | 0,75 |
| 2,5-CMA | | | Seco | 2,5 | 1,20 |
| 5-CMA | | | Seco | 5,0 | 1,70 |

GA-Gesso e Água (controle); GASC-Gesso e Água com Máscara Seca; GAST-Gesso e Água com Máscara Saturada; GASCr-Gesso e água com Máscara Seca e redução de a/l; GASTr-Gesso e água com Máscara Saturada e redução de a/l; CH-Cal Hidráulica (referência); CHSC-Cal Hidráulica e Máscara Seca no ligante; CHST-Cal Hidráulica e Máscara Saturada no ligante; CHSCA-Cal Hidráulica e Máscara Seca no Agregado; CHSTA-Cal Hidráulica e Máscara Saturada no Agregado; CM-Cimento (referência); CMA-Cimento com Máscara no Agregado

2.3 Ensaios nas argamassas

Para avaliar os efeitos da incorporação dos resíduos nas argamassas em estudo, executaram-se ensaios nos estados fresco e endurecido.

Para o ensaio de massa volúmica no estado fresco, adotou-se a norma CEN-EN 1015-6 [13]. Já o ensaio de consistência é normalizado pela CEN-EN 1015-3[14], em que o espalhamento de 175 ± 10 milímetros é considerado aceitável, com exceção das argamassas de gesso, em que o ensaio de trabalhabilidade é definido pela norma CEN-EN 13279-2 [15], devendo o espalhamento esperado ter um valor de 165 ± 10 milímetros [16].

Com as argamassas no estado endurecido, procedeu-se ao ensaio de resistência à compressão, segundo a norma CEN-EN 1015-11 [17], através do equipamento D-7940 Riedlingen, com capacidade de 200 kN. Para estes ensaios foram moldados provetes cúbicos reduzidos de $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$. Em relação ao ensaio de condutibilidade térmica, utilizou-se o aparelho *Isomet Model 2114*, acoplado a uma sonda de superfície do tipo *IPS 1105*. Os provetes moldados para ensaio são discos de base circular com 5 cm de diâmetro e 2 cm de altura, e a área analisada foi a base inferior do provete, onde houve

contado direto com o molde e por isso é mais regular. Ambos os ensaios de compressão e condutibilidade térmica foram executados para os provetes aos 28 dias, com procedimento de cura definido também pela norma CEN-EN 1015-11 [17].

3. RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Argamassas no estado fresco

Os resultados dos ensaios de massa volúmica e consistência para as argamassas no estado fresco são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Ensaios de massa volúmica e consistência das argamassas

| Argamassa | Massa Volúmica (kg/m ³) | Consistência (mm) |
|-----------|-------------------------------------|-------------------|
| GA | 1620,8 | 183,0 |
| 2,5-GASC | 1346,9 | 130,5 |
| 2,5-GAST | 1474,7 | 155,5 |
| 5 - GAST | 1438,5 | 142,5 |
| 5-GASCr | 1567,3 | - |
| 5-GASTr | 1336,6 | - |
| 7,5-GASC | 1443,3 | - |
| 7,5-GAST | 1306,7 | - |
| 10-GASC | 1409,4 | - |
| 10-GAST | 1298,9 | - |
| CH | 2164,5 | 181,1 |
| 2,5-CHSC | 2125,8 | 134,6 |
| 2,5-CHST | 2080,1 | 164,0 |
| 5-CHST | 1908,4 | 139,0 |
| 2,5-CHSCA | 1968,3 | 185,0 |
| 2,5-CHSTA | 1887,1 | 187,0 |
| 5-CHSCA | 1677,1 | 150,0 |
| 5-CHSTA | 1650,9 | 149,0 |
| CM | 2152,3 | 173,2 |
| 2,5-CMA | 1902,0 | 167,4 |
| 5-CMA | 1711,3 | 143,3 |

Com exceção das formulações 2,5-GASC e 2,5-GAST, todas as argamassas que tiveram incorporação do resíduo saturado apresentaram valores de massa volúmica menores do que as argamassas com a mesma taxa de incorporação de resíduo seco. Nas argamassas de gesso, os menores valores de massa volúmica observados em relação ao valor da argamassa referência (GA), foram obtidos para as taxas mais elevadas de incorporação de resíduo, com reduções de 13 % para as argamassas 10-GASC e 20 % para as argamassas 10-GAST. Em relação às argamassas de cal hidráulica, observam-se também maiores quedas nos valores de massa volúmica para as misturas com maior taxa de incorporação de resíduos. É, igualmente, possível notar que o resíduo na condição saturada tem maior influência nesta redução para estas argamassas. Foram observados semelhantes valores de queda percentual da massa volúmica em relação às argamassas de cal hidráulica com substituição do agregado e as argamassas de cimento. Essas quedas são da ordem de 10 % para 2,5 % de resíduo e 20 % para argamassas com 5 % de resíduo incorporado.

Em relação aos ensaios de consistência, encontrou-se maior dificuldade em obter resultados compatíveis de espalhamento para as argamassas de gesso, já que estas apresentavam aspecto excessivamente líquido nos minutos seguintes da mistura,

para uma relação água/ligante de 0,65, como recomendado pelo fabricante. De modo a se poder comparar com a argamassa de referência GA, delimitou-se um tempo de ensaio após a realização da mistura, onde se obteve o resultado apresentado na Tabela 3. Desta forma, nota-se uma diferença significativa para os restantes resultados de consistência das argamassas de gesso com resíduo, sendo esta diferença amenizada quando se incorpora o resíduo saturado. As argamassas de gesso que não apresentaram resultados tiveram o início da presa antes que fosse possível realizar o ensaio padronizado, evidenciando que os resíduos podem reduzir significativamente o tempo trabalhável da argamassa, principalmente em taxas maiores de incorporação.

No que se refere às argamassas de cal hidráulica, observa-se uma redução do espalhamento para as argamassas com substituição do ligante pelo resíduo, sendo esta redução menor quando o resíduo é incorporado no estado húmido, ou seja, esta última condição permitiu manter uma trabalhabilidade, para uma mesma relação água/ligante da referência. Para as argamassas de cal hidráulica com substituição do agregado pelo resíduo, em que se corrigiu a relação água/ligante para obter a trabalhabilidade necessária, as argamassas 2,5-CHSCA e 2,5-CHSTA tiveram espalhamento adequado pela norma [14]. Por outro lado, quando se aumenta a incorporação para 5 % de máscara, o espalhamento reduz significativamente, mesmo com aumento da quantidade de água. No intuito de buscar um resultado mais próximo ao sugerido em norma, realizou-se a tentativa de adicionar mais água às argamassas com 5 % de resíduo, porém obteve-se evidente excesso de água e alterações na homogeneidade da mistura. Desta forma, do ponto de vista da trabalhabilidade, para manter-se um comportamento satisfatório para incorporações acima de 5 %, seria recomendado utilizar aditivos, como por exemplo, um plastificante. Neste caso, deve-se ter atenção aos possíveis aumentos da porosidade e redução da resistência mecânica destas argamassas [18].

Resultados semelhantes são observados para as argamassas de cimento, em que a referência (CM) e a argamassa 2,5-CM obtiveram espalhamento adequado à norma, enquanto a argamassa 5-CMA teve seu espalhamento reduzido no ensaio, não sendo possível aumentar a quantidade de água (já apresentava excesso desse componente). Na ordem de atingir uma boa trabalhabilidade para incorporações de resíduo superiores de 5 % ou mais, também seria possível o estudo do uso de aditivos plastificantes, o que pode causar uma redução ainda maior da resistência [18]. Li et al [19] apresentam uma forma de mitigar os efeitos negativos do uso de aditivos dispersantes em argamassas com o uso de agentes antiespumantes.

3.3 Argamassas no estado endurecido

Na Tabela 4, apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e condutibilidade térmica (2 medidas em cada provete) para as argamassas.

Tabela 4 - Ensaios de resistência à compressão e condutibilidade térmica das argamassas

| Argamassa | Resistência à compressão (MPa) | Condutibilidade térmica λ (W/m.K) |
|-----------|--------------------------------|---|
| GA | 4,04 | 0,275 |
| 2,5-GASC | 3,42 | 0,255 |
| 2,5-GAST | 2,44 | 0,230 |
| 5 - GAST | 2,01 | 0,231 |
| 5-GASCr | 4,04 | 0,317 |
| 5-GASTr | 2,10 | 0,224 |
| 7,5-GASC | 3,24 | 0,286 |
| 7,5-GAST | 1,54 | 0,201 |
| 10-GASC | 3,03 | 0,273 |
| 10-GAST | 1,51 | 0,194 |
| CH | 0,88 | 1,079 |
| 2,5-CHSC | 0,86 | 0,940 |
| 2,5-CHST | 0,86 | 0,333 |
| 5-CHST | 0,76 | 0,333 |
| 2,5-CHSCA | 0,53 | 0,225 |

| Argamassa | Resistência à compressão (MPa) | Condutibilidade térmica λ (W/m.K) |
|-----------|--------------------------------|---|
| 2,5-CHSTA | 0,43 | 0,173 |
| 5-CHSCA | 0,24 | 0,226 |
| 5-CHSTA | 0,18 | 0,306 |
| CM | 33,86 | 1,978 |
| 2,5-CMA | 9,52 | 1,281 |
| 5-CMA | 3,23 | 0,779 |

A partir dos resultados obtidos, nota-se uma redução da resistência para todas as argamassas com resíduo, em relação às suas referências. Tal redução é mais acentuada nas argamassas com incorporação do resíduo saturado.

No que concerne às argamassas de gesso, a norma CEN-EN 13279-1 [16] delimita que a resistência à compressão não deve ser menor que 2 MPa, o que não corresponde aos valores encontrados para as argamassas com mais de 5 % de resíduo no estado saturado. Para as argamassas de gesso com resíduo no seco, não se observou uma elevada diminuição, que impossibilitasse a sua utilização. Porém, deve-se considerar a trabalhabilidade dessa mistura no estado fresco, fator este que pode condicionar o uso de tais argamassas, devido à elevada absorção de água do resíduo, e conseqüente redução do espalhamento e tempo de presa, para maiores taxas de incorporação.

Para avaliação dos resultados de resistência obtidos para as argamassas de cal hidráulica e cimento, considerou-se os parâmetros definidos pela CEN-EN 998 [20] e apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Classes de resistência à compressão

| Tipo | Valor Médio |
|--------|-------------|
| CS-i | 0,4-2,5 MPa |
| CS-ii | 1,5-5,0 MPa |
| CS-iii | 3,5-7,5 MPa |
| CS-iv | > 6 MPa |

A respeito das argamassas de cal hidráulica, tanto a referência, quanto as argamassas com substituição do ligante (2,5-CHMS, 2,5-CHMH e 5-CHMH), apresentaram valores adequados de resistência para todos os tipos de aplicação, pertencendo à classe CS-i. Quando se substituiu o resíduo pelo agregado, notam-se quedas maiores de resistência, cerca de 40 % para 2,5-CHSCA, e 51 % para 2,5-CHSTA, embora ambas as argamassas ainda possuam resistência aceitável para a classe CS-i. Já as argamassas 5-CHSCA e 5-CHSTA não satisfazem os limites estipulados pela norma [20].

Em relação às argamassas de cimento, a referência CM apresentou uma resistência elevada, a que corresponde a classe CS-iv segundo a norma [20], tal como já havia sido reportado no trabalho de Bellei et al. [11, porém, nesse estudo, os autores trabalharam com cimento Portland 32,5 R. Todas as restantes argamassas que foram produzidas com cimento e incorporação de resíduo tiveram sua resistência reduzida. A argamassa 2,5-CMA teve redução de resistência de 72 % em relação à referência, ainda pertencendo à classe CS-iv. Para a argamassa 5-CMA esta redução foi de 90 %, para a mesma referência, a maior observada em todos os ensaios de resistência à compressão, sendo esta argamassa pertencente à classe CS-ii. Ao analisar os resultados do ensaio de massa volúmica para argamassas no estado fresco, este resultado evidencia que o cimento foi o ligante mais sensível quando se incorpora o resíduo em estudo, sendo possível relacionar as causas de tal sensibilidade ao resíduo.

A partir dos resultados obtidos para o ensaio de condutibilidade térmica, nota-se uma tendência de redução dos valores, conforme se aumenta as taxas de incorporação do resíduo para todos os tipos de argamassas. Com isso, identifica-se um potencial destas argamassas serem consideradas como térmicas, já que a norma CEN-EN 998-1 [20] delimita que argamassas com valores de condutibilidade térmica inferiores a 0,2 W/(m.K) já apresentam características térmicas.

4. CONCLUSÃO

Foram realizados ensaios de caracterização do resíduo moído em crivo e, em seguida, foram executados ensaios nas argamassas no estado fresco e endurecido para diversas taxas de incorporação. No final, constatou-se que todas as argamassas com adição de resíduo apresentaram perda de resistência em relação à referência, entretanto, para algumas argamassas, esta perda não foi fator limitante para a sua utilização na construção.

Conforme observado nos resultados expostos, observou-se uma queda da massa volúmica das argamassas no estado fresco ao se aumentar as taxas de incorporação do resíduo, o que era esperado devido aos resultados dos ensaios de caracterização do resíduo. A consistência das argamassas também foi notavelmente impactada pela adição do resíduo, devido à grande absorção de água das fibras, levando à necessidade de se aumentar a quantidade de água nas argamassas com maiores quantidades de resíduo.

Em relação à resistência, todas as argamassas com resíduo incorporado diminuíram seus resultados, principalmente nos casos em que este resíduo foi adicionado na condição saturada. As argamassas de gesso com o resíduo na condição seca não tiveram perda de resistência suficiente para impossibilitar seu uso, porém deve-se ter atenção às mudanças nas características de trabalhabilidade, como consistência e tempo de presa. Para as argamassas de cal hidráulica, a diminuição da resistência foi mais significativa, quando o resíduo foi adicionado como parte do agregado, dificultando a incorporação de mais de 2,5 % de resíduo para o traço utilizado. As maiores perdas de resistência observadas foram nas argamassas de cimento, 72 % e 90 % de perda para incorporações de 2,5 % e 5 %, respectivamente.

Por meio dos ensaios de condutibilidade, nota-se um aumento das propriedades isolantes das argamassas conforme se aumentam as taxas de incorporação do resíduo, sendo este aumento mais acentuado nas argamassas de cal hidráulica, em que a condutibilidade térmica se aproxima dos valores definidos para argamassas térmicas, não havendo ao mesmo tempo troca nas classes de resistência.

Esta investigação, foi realizada no âmbito do projeto ReDuCe, e buscou compreender e analisar o comportamento de argamassas produzidas com a incorporação de um resíduo produzido em grande escala atualmente (devido as situações pandêmicas) e com poucos trabalhos precedentes. Os resultados mostram as restrições e oportunidades que tal resíduo apresenta para se obter uma argamassa que proporcione o maior ganho ambiental possível, no sentido de utilizar grandes porcentagens do resíduo reciclado. Para melhor compreensão dos efeitos deste resíduo nas argamassas, sugere-se investigações que visem avaliar as possíveis causas das mudanças mais bruscas de comportamento e desenvolver soluções, com o uso de aditivos ou outros procedimentos, que permitam o uso do material reciclado na indústria, em detrimento do seu descarte direto no ambiente.

AGRADECIMENTOS

O estudo apresentado foi realizado no âmbito do projeto ReDuCe (1801P.01109) financiado pela Fundação Amélia de Mello, e atribuído em parceria com a BCSD Portugal, sendo o autor Julio Veloso financiado por este projeto (BL143/2021). Poliana Bellei agradece o financiamento da bolsa para doutoramento da Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia (UI/BD/151151/2021).

REFERÊNCIAS

- [1] Royer, S-J.; Ferro'n, S.; Wilson, ST.; Karl, DM. (2018). **Production of methane and ethylene from plastic in the environment.** PLoS ONE, 13(8): e0200574
- [2] Kilmartin-Lynch, S.; Saberian, M.; Li, J.; Roychand, R.; Zhang, G. (2021). **Preliminary evaluation of the feasibility of using polypropylene fibres from COVID-19 single-use face masks to improve the mechanical properties of concrete.** Journal of Cleaner Production.

- [3] Romero Gómez, I.; De Brito, J.; Flores-Colen, I.; Vasco Silva, R.; Rodríguez-Liñán, C. (2020). **Incorporación de residuos plásticos de elevada tasa de incorporación, en la fabricación de compuestos de yeso y su aplicación a produtos de la construcción.** Relatório CERIS. Instituto Superior Técnico. Portugal. 41p.
- [4] Nili, M., Afroughsabet, V. (2010). **The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete.** Construction and Building Materials, 927-933, 24 (6).
- [5] Martínez-Lopez, M.; Martínez-Barrera, G.; Salgado-Delgado, R. (2021). **Recycling polypropylene and polyethylene wastes in production of polyester based polymer mortars.** Construction and Building Materials, 274.
- [6] Barbero-Barrera, M. Flores Medina, N. (2018). **The effect of polypropylene fibers on graphite-natural hydraulic lime pastes.** Construction and Building Materials, 591-601, 184.
- [7] NP EN 933-1 (2000). **Ensaio das propriedades geométricas dos agregados: análise granulométrica. Método de peneiração.** IPQ, Lisboa.
- [8] NP EN 1097-3 (2002). **Ensaio para a determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados: Método para a determinação da baridade e do volume de vazios.** IPQ, Lisboa
- [9] NP EN 1097-6 (2003). **Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados: Determinação da massa volúmica e da absorção de água.** IPQ, Lisboa.
- [10] EN 1015-2 (1998). **Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars.** Brussels: CEN.
- [11] Bellei, P.; Torres, I.; Flores-Colen, I.; Travincas, R.; Silveira, D. (2021). **Study of cement mortars with different particle size sands after application to ceramic brick substrate.** International conference. Construction, energy environment & sustainability, Coimbra, Portugal.
- [12] Travincas, R.; Bellei, P.; Torres, I.; Flores-Colen, I. (2022). **Avaliação da porosidade e permeabilidade ao vapor de água de argamassas de revestimento.** ITECONS. Coimbra.
- [13] EN 1015-6 (1998). **Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar.** CEN, Brussels.
- [14] EN 1015-3 (1999). **Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table).** CEN, Brussels.
- [15] EN 13279-2 (2014). **Gypsum binders and gypsum plasters – Part 2: Test Methods.** CEN, Brussels.
- [16] EN 13279-1 (2008). **Gypsum binders and gypsum plasters – Part 1: Definitions and requirements.** CEN, Brussels.
- [17] EN 1015-11 (2019). **Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.** CEN, Brussels.
- [18] MATTANA, A.J.; COSTA, M. (2010). **Estudo da influência de aditivo dispersante no comportamento reológico de argamassas de revestimento.** Universidade Federal do Paraná.
- [19] Li, H.; Xue, Z.; Liang, G.; Guo, Y.; Ni, D.; Yang, Z. (2021). **Influence of defoaming agents on mechanical performances and pore characteristics of Portland cement paste/mortar in presence of EVA dispersible powder.** Journal of Building Engineering, 41.
- [20] EN 998-1 (2016). **Specification for mortar for masonry – Part 1: Rendering and plastering mortar.** CEN, Brussels.

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade

USO DOS RESÍDUOS DE PEDRA MORISCA DA CIDADE DE CASTELO DO PIAUÍ NA PRODUÇÃO DE CONCRETO

LÍVIA, Jamie da Costa Soares Farias¹; QUEIROZ, Letícia Monteiro²; MOURA, Linardy de Sousa³; GUEDES, Laécio do Nascimento⁴; FERNANDES, Amanda Pereira da Silva⁵

¹ Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina, Brasil, jamiesoares_@hotmail.com 1, <https://orcid.org/0000-0003-3321-8156>

² Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina, Brasil, leticiamonteiro9840@gmail.com 2, <https://orcid.org/0000-0002-9159-227X>

³ Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina, Brasil, linardy_moura@hotmail.com 3, <https://orcid.org/0000-0002-3396-8080>

⁴ Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina, Brasil, laecioguedes25@hotmail.com 4, <https://orcid.org/0000-0003-3321-8156>

⁵ Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina, Brasil, amandafeernandes09@gmail.com 5, <https://orcid.org/0000-0001-7616-8166>

RESUMO

Os agregados artificiais oriundos de rochas ornamentais, em especial a pedra Morisca, se tornaram uma boa alternativa na produção de concretos e redução dos impactos ao meio ambiente. Com isso, a pesquisa objetiva analisar a viabilidade técnica do reaproveitamento do pó da pedra Morisca na produção de concreto. Sua metodologia é de cunho quantitativo e experimental. Com a coleta de dados realizada in loco pôde-se analisar a extração da pedra, conhecer e registrar as etapas, os métodos de extração, as ferramentas utilizadas pelos operários e observar o desperdício do material. A análise de dados foi feita com a confecção dos corpos de prova com substituição parcial do aglomerante pelo pó da pedra Morisca (PM) com 5%, 7,5%, 10% e 12,5 % em massa, e realizado ensaios de granulometria, de consistência e de resistência a compressão simples. Dentre os resultados, no ensaio de resistência à compressão, observou-se que o traço de referência não atingiu o valor de resistência esperado de 25 Mpa. Na amostra com 5% a resistência diminuiu, com 7,5% houve um aumento e partir das demais substituições tornou a diminuir. Em todos os traços não se obteve a resistência especificada, sendo assim, nenhum dos traços tornou-se viável para a utilização em concretos estruturais.

Palavras-chave: resíduo de pedra¹; material alternativo²; resistência à compressão³.

ABSTRACT

Artificial aggregates from ornamental rocks, especially Morisca stone, have become a good alternative in the production of concrete and reduction of impacts on the environment. With this, the research aims to analyze the technical feasibility of reusing the powder of Morisca stone in the production of concrete. Its methodology is quantitative and experimental. With the data collection carried out in loco, it was possible to analyze the extraction of the stone, to know and record the steps, the extraction methods, the tools used by the workers and to observe the waste of the material. Data analysis was performed with the preparation of specimens with partial replacement of the binder by Morisca stone powder (PM) with 5%, 7.5%, 10% and 12.5% by mass, and granulometry tests were performed, consistency and simple compressive strength. Among the results, in the compressive strength test, it was observed that the reference trace did not reach the expected strength value of 25 Mpa. In the sample with 5% the resistance decreased, with 7.5% there was an increase and from the other substitutions it decreased again. In all traces, the specified strength was not obtained, therefore, none of the traces became viable for use in structural concrete.

Keywords: stone residue¹; alternative materia²; compressive strength³.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o principal material de construção da atualidade por suas várias formas em que se apresenta, por exemplo, como simples, armado, protendido etc. Sendo um elemento composto por cimento, água, agregado miúdo, agregado graúdo, além do ar, podendo ou não, conter aditivos e adições para melhorar ou até mesmo modificar suas propriedades, afim de promover o melhor desempenho. É essencial que a dosagem possua uma mistura ideal de uma maneira econômica com os materiais disponíveis na região (COUTO *et al.*, 2013) [1].

As propriedades que são fundamentais desse material são: estabilidade direcional, resistência e durabilidade. Porém a que mais se destaca e necessita de maior controle é a resistência, onde tem uma proporção inversa com quantidade de vazios (porosidade) e esta por sua vez possui relação direta com o fator água-cimento, onde quanto mais poroso for a microestrutura será menos resistente. Por isso é essencial fazer uma boa escolha dos materiais apropriados e de suas proporções (MEHTA; MONTEIRO, 2008) [2].

Assim, os agregados artificiais oriundos de rochas ornamentais tornaram-se uma alternativa útil não somente por melhorar as propriedades do concreto substituindo total ou parcialmente o cimento portland, mas como alternativa para diminuir os agravantes dos impactos ao meio ambiente através da extração da areia natural. O excedente que antes seria descartado na natureza seja utilizado como agregado miúdo. (NASCIMENTO, 2018) [3].

A pedra Morisca se inclui como um resíduo especial por ser bastante utilizado no Brasil e países afora. É formada por camadas contínuas e espessuras variáveis no qual seu aproveitamento é controlado pela fratura e a variação da composição dessas camadas constituintes, que é um fator primordial para que a rocha se quebre em camadas (folhas), fator condicionante para o aproveitamento na jazida como utilização ornamental e como revestimento (DREYER, 2016) [4].

Por esse motivo, ao se falar em concreto, é notável a busca incessante por novos meios que darão mais economia ao construir, e é por isso já existem vários estudos como também aplicações de alternativas para a reutilização dos resíduos dos processos de lavra e de beneficiamento da pedra morisca. Um exemplo é o recorte primário das rochas sendo reutilizados na própria pedreira e como forma de artesanato, e já os resíduos da porção secundária, podem ser reutilizados mais especificamente na construção civil na indústria cimentícia, em argamassas, e no caso desse estudo, são reutilizadas no concreto (NUNES, 2020) [5].

Diante disso, este artigo tem como intuito avaliar a viabilidade em se produzir concreto com o pó residual gerado através do beneficiamento da pedra de Castelo.

2. METODOLOGIA

A metodologia é do tipo quantitativa, visto que utilizar o pó da pedra na produção do concreto, todas as características devem ser avaliadas, principalmente quando se refere a novos tipos de materiais como é o caso da pedra Morisca, onde a viabilidade técnica dependerá dos resultados dos testes sobre o comportamento deste quando atribuído ao concreto.

Para análise dos dados, registros fotográficos foram realizados para auxiliar na elaboração da demonstração do ensaio de granulometria, visto que ajuda a examinar e relacionar o tamanho dos grãos em relação aos outros durante o peneiramento, assim como a numeração das peneiras. Após isso o material foi incorporado ao concreto fresco no laboratório. Os ensaios efetuados afim de comparar o concreto com resíduo da rocha com o natural foram: granulometria, consistência e resistência à compressão.

2.1 Materiais

2.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o Cimento Portland CII32-E, da marca POTY, adquirido no comércio local na cidade de Teresina/PI (Figura 1). O material estava em perfeito estado de conservação, anteriormente foi armazenado em ambiente

fechado, seco e sem presença de umidade, sem contato direto com o chão, distante a 10 cm e 30 cm da parede.



Figura 1 – Cimento Portland [Autoria própria]

2.1.2 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado, Figura 2, foi do tipo seixo e estava ausente de matéria orgânica.



Figura 2 – Agregado graúdo (Seixo) [Autoria própria]

2.1.3 Agregado Miúdo

O agregado miúdo foi areia natural fina (0,018 mm), ver Figura 3.



Figura 3 – Agregado miúdo (Areia) [Autoria própria]

2.1.4 Água de amassamento

A água de amassamento usada foi disponibilizada pelo Centro Universitário Santo Agostinho. Esta possui características físicas e químicas adequadas para a produção do concreto, ver Figura 4.



Figura 4 – Água de amassamento [Autoria própria]

2.1.5 Resíduo de beneficiamento da pedra Morisca

As jazidas de extração da pedra morisca ficam localizadas na cidade de Castelo do Piauí, esta se encontra na zona rural da cidade, à 189,3 Km da capital Teresina. A empresa estudada, dedica-se à extração, beneficiamento e exportação de rochas ornamentais, principalmente pedra morisca e é bastante importante para o setor econômico local, do estado e até mesmo para o país visto que promove exportação para vários países.

Foi utilizado o pó do resíduo da pedra Morisca gerado no processo de beneficiamento, onde ocorre o corte ou polimento e foi usado para substituição parcial como aglomerante. O pó utilizado foi mantido com os mesmos cuidados do cimento e foi destorroado antes do amassamento, está representado na Figura 5.



Figura 5 – Pó da pedra Morisca [Autoria própria].

2.1.6 Confeção de Corpo de Prova

Os traços foram constituídos por Cimento Portland, areia natural, seixo e pó de pedra Morisca em suas devidas proporções de 1: 2,4: 3,28, para obtenção de um fck de 25 Mpa, tomando como referência o traço com 100% de cimento portland

(TR). No total foram feitos cinco traços, o traço de referência (TR), e mais quatro com substituição parcial do aglomerante cimento portland pelo pó da pedra Morisca (PM) com 5%, 7,5%, 10% e 12,5 % em massa. A relação a/c é de 0,64 para o TR e foi repetida para as demais proporções, ver na Tabela 2.

Tabela 2 – Proporção das misturas [6]

| Substituição (%) | Cimento kg | Areia Natural (kg) | PM (kg) | Seixo (kg) | Fator a/c |
|------------------|------------|--------------------|---------|------------|-----------|
| TR | 7,00 | 16,8 | 0 | 22,96 | 0,64 |
| 5% | 6,65 | 16,8 | 0,350 | 22,96 | 0,64 |
| 7,5% | 6,475 | 16,8 | 0,525 | 22,96 | 0,64 |
| 10% | 6,30 | 16,8 | 0,700 | 22,96 | 0,64 |
| 12,5% | 6,125 | 16,8 | 0,875 | 22,96 | 0,64 |

Os dados da Tabela 2, estão de acordo com os parâmetros de segurança da NBR 6118/2021 [7] entre a classe de agressividade e qualidade do concreto.

2.1.7 Moldagem e cura dos corpos de prova (cp's)

Foram moldados três corpos de prova cilíndricos com dimensões de (100x200) mm para cada traço definido como mostra na Figura 6, totalizando 15 corpos de prova. Em seguida foram curados inicialmente nas primeiras 24h, após isso foi realizado o desmolde e colocados em cura úmida em um tanque com água até os 28 dias a partir do término da moldagem, como mostram as Figuras 6 e 7. A moldagem foi realizada conforme diretrizes da NBR 5738:2015 [8]. Posteriormente, dado os 28 dias de cura, foi feito o ensaio de resistência à compressão.



Figura 6 – Moldagem de corpo de prova [Autoria própria]



Figura 7 – Cura úmida [Autoria própria]

2.1.8 Ensaios realizados

2.1.8.1 Granulometria

Realizou-se a caracterização dos resíduos da pedra Morisca para a determinação da distribuição granulométrica e dimensão máxima característica. Foi realizada por peneiramento com o agitador de peneiras, conforme a NBR NM 248:2003 [9], afim de obter granulometria uniforme para ser usada como aglomerante e verificar o diâmetro médio, o peneiramento está representado na Figura 8.



Figura 8 – Ensaio de peneiramento [Autoria própria]

Durante o ensaio de peneiramento foi colocado a amostra na peneira de 9,5 mm e ligado o agitador de peneiras. Ao final do processo foi pesado o material retido em cada peneira e calculado a porcentagem em relação a amostra total, também foi identificada o diâmetro médio.

2.1.9 Ensaio do concreto - estado fresco

2.1.9.1 Consistência

O ensaio de consistência foi realizado por meio de ensaio de abatimento do tronco de cone de acordo com a NBR NM 67:1998 [10] e foi feito para cada traço e verificado os valores de abatimento em milímetros.

2.1.10 Ensaio do concreto - estado endurecido

2.1.10.1 Resistência à compressão

Foram utilizados seis corpos de prova, para cada traço com dimensões de (100x200) mm, aos 28 dias de cura, seguindo a NBR 5739:2018 [11]. O ensaio foi realizado com a aplicação de uma prensa hidráulica, disponibilizada pelo laboratório de concreto do Centro Universitário Santo Agostinho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.1 Caracterização granulométrica do pó da pedra Morisca

Para a análise da distribuição granulométrica (Tabela 3) foram realizados dois ensaios, com o intuito de verificar se houve notável variação no somatório de massa retida em relação a cada peneira. Acerca disso foi verificado que as maiores variações foram nas peneiras de 1,8 e 0,3 mm, o equivalente a 0,33%, já sobre a massa retida média em porcentagem foi obtido os valores de 0,0%; 0,0%; 0,42%; 6,60%; 12,56%; 19,03%, 12,56%, 8,63% e 40, 21% para as peneiras de 9,5 mm; 6,3mm; 4,75mm; 2,36mm; 1,18mm; 0,6mm; 0,3mm; 0,15mm e fundo, respectivamente, resultando em grande quantidade de finos.

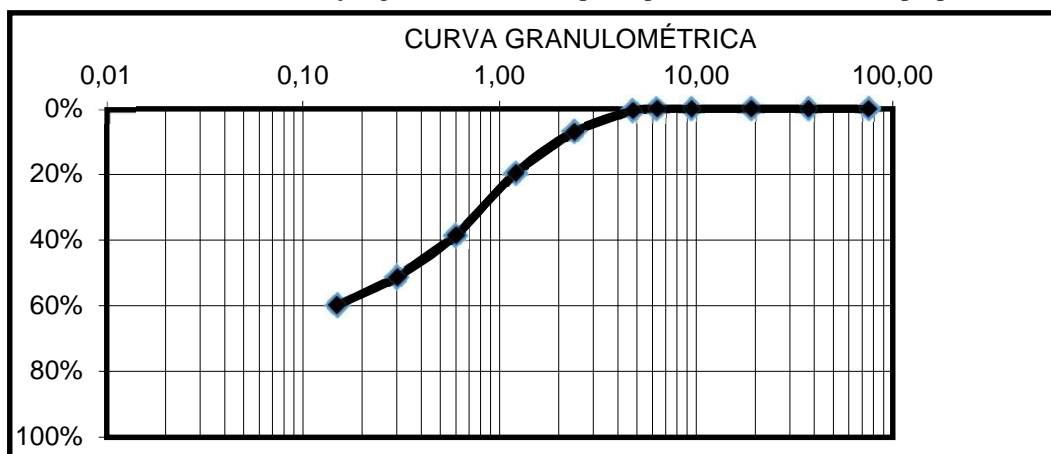
Tabela 3 – Granulometria do pó da pedra Morisca [Autoria própria]

| Abertura da malha das peneiras (mm) | a) massa fina seca (g)= | 500 | | | Massa retida Var. +- 4% | Massa retida média (%) | Massa Retida Acum. (%) |
|-------------------------------------|-------------------------|----------|------------------|----------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| | b) massa fina seca (g)= | 500 | | | | | |
| | Massa retida (g) | | Massa retida (%) | | | | |
| | Ensaio a | Ensaio b | Ensaio a | Ensaio b | | | |
| 9,5 | 0 | 0 | 0,0% | 0,0% | 0% | 0% | 0,00% |
| 6,3 | 0 | 0 | 0,0% | 0,0% | 0% | 0% | 0,00% |
| 4,75 | 2 | 2,1 | 0,4% | 0,4% | 0% | 0% | 0,42% |
| 2,36 | 33,3 | 31,9 | 6,8% | 6,4% | 0% | 7% | 7,02% |
| 1,18 | 61 | 63 | 12,4% | 12,7% | 0% | 13% | 19,58% |
| 0,6 | 94 | 93,9 | 19,1% | 19,0% | 0% | 19% | 38,61% |
| 0,3 | 61 | 63 | 12,4% | 12,7% | 0% | 13% | 51,16% |
| 0,15 | 43 | 42,2 | 8,7% | 8,5% | 0% | 9% | 59,79% |
| Fundo | 198 | 199 | 40,2% | 40,2% | 0% | 40% | 100,00% |
| Total | 492,3 | 495,1 | - | - | - | - | - |

A partir da massa retida acumulada foi elaborado a curva granulométrica do aglomerante oriundo do resíduo da pedra Morisca, sendo utilizado os dados do ensaio b pois foi o que se obteve menos perdas de massa. Foi observado que o

diâmetro médio é 34,90 micrômetros, ou 0,03490 milímetros, o equivalente a 50% da massa acumulada retida, como mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1– Curva de distribuição granulométrica do pó da pedra Morisca [Autoria própria]



De acordo com a NBR NM 46:2003 [12] o material que fica retido por lavagem na peneira de 0,075 mm (Nº 200) é considerado areia e o que passa se enquadra como silte ou argila e após a análise do material e ter constatado que este é muito fino, passando 100%. Com isso, torna-se inviável a utilização como agregado, por isso a pesquisa foi reajustada para ser utilizada como aglomerante, onde sua granulometria se encaixa, o processo do ensaio e a quantidade passante estão representados nas Figuras 9 e 10, respectivamente.



Figura 9 – Ensaio de determinação de material fino passante na peneira de 0,075 mm [Autoria própria]

Durante o ensaio o material foi lavado e percebeu-se que o material passava pela peneira sem dificuldade, demonstrando grande quantidade de finos.

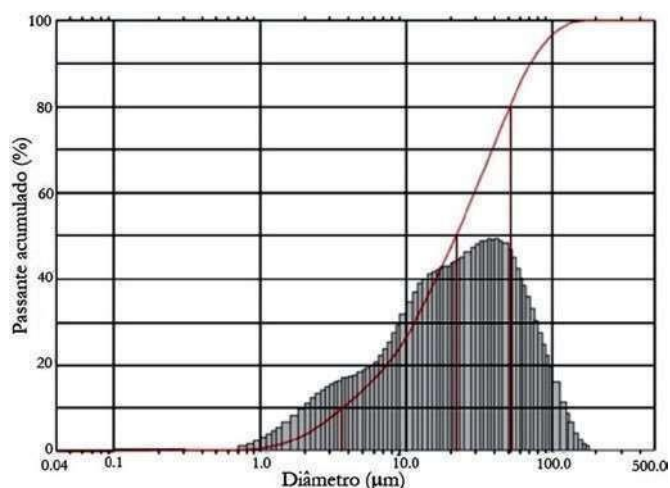


Figura 10 – Material passante na peneira de 0,075 mm [Autoria própria]

Na Figura 10 fica evidente que todo o material passou pela peneira de 0,075 mm, na porção inferior da imagem encontra-se o resíduo na pia.

É importante frisar que não foram encontrados resultados de pesquisas anteriores que contemplem os estudos sobre a utilização do pó da pedra Morisca como aglomerante em substituição parcial pelo cimento Portland. Com isso foi realizado a comparação com outro tipo de pedra. O resíduo de beneficiamento de rocha ornamental (RBRO) estudado é composto principalmente por quartzito, assim como a pedra Morisca, sendo observado que o diâmetro médio é 30,95 micrômetros, ou 0,03095 milímetros, ver Gráfico 2.

Gráfico 2 – Curvas de distribuição granulométrica do RBRO [6]



Por meio da comparação dos resultados foi possível averiguar que os diâmetros médios se assemelham, porém, a distribuição granulométrica do RBRO fica restrita a 0,001mm a 0,2 mm e o pó da pedra morisca fica na faixa de 0,0015 a 4,75 mm.

3.1.2 Consistência

O ensaio foi realizado para cada traço executado, obtendo como resultado de abatimento de 10 mm para o traço de referência (TR), havendo um acréscimo a partir daí, com 13mm para 5% de substituição, 53 mm para 7,5%, 66mm para 10% e 75 mm para 12,5%. Na Tabela 4 está representado os valores encontrados.

Tabela 4 – Consistência [Autoria própria]

| % de substituição | Consistência (mm) |
|-------------------|-------------------|
| TR | 10 |
| 5 | 13 |
| 7,5 | 53 |
| 10 | 66 |
| 12,5 | 75 |

Diante dos resultados encontrados foi comprovado que para o TR e substituição de 5% não foi obtido trabalhabilidade aceitável para o TR, visto os abatimentos tem características muito baixa (0-10) e baixa (15-30), respectivamente. Já as demais substituições obtiveram uma consistência média (35-75), ver Figuras 11, 12, 13, 14 e 15.



Figura 11 – Abatimento para o traço de Referência [Autoria própria]

A partir da análise da Figura 12 é possível verificar que o abatimento, portanto a consistência, está muito baixa.



Figura 12 – Abatimento para substituição com 5% do pó da pedra Morisca [Autoria Própria]

A diferença de abatimento do traço anterior para o com substituição tem uma diferença de apenas 3 mm, com característica de consistência baixa.



Figura 13 – Abatimento para substituição com 7,5% do pó da pedra Morisca [Autoria Própria]

A partir da substituição de 7,5% é possível notar que o abatimento tem um aumento mais considerável, nesse traço verificou-se que foi obtido consistência média.

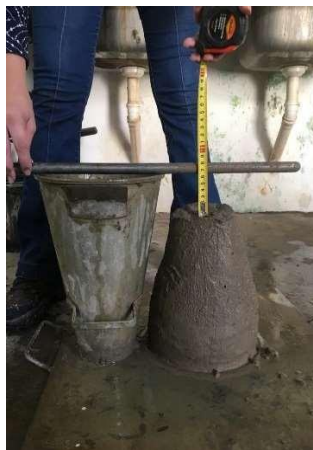


Figura 14 – Abatimento para substituição com 10% do pó da pedra Morisca [Autoria Própria]

A substituição de 10% também trouxe valores de consistência média, assim como o de 7,5%.



Figura 15 – Abatimento para substituição com 12,5% do pó da pedra Morisca [Autoria própria]

Com a substituição de 12,5% notou-se que houve um abatimento bem maior que os demais citados anteriormente, mas ainda se encaixa na consistência média.

De acordo com a Tabela 5 pode-se observar que à medida que aumenta o teor de substituição presente na mistura, também aumenta a trabalhabilidade, fato que pode ser explicado pelo fator do pó da pedra Morisca tenha quantidade de finos menor que o cimento Portland. Para o traço de referência e o com 5% de substituição possuem consistência seca, o que tornam inviáveis para serem utilizados, os com substituição de 7,5% tem consistência plástica e os com 10% e 12,5% estão na faixa de consistência branda. Sendo assim os três últimos citados se enquadram na zona aceitável para ser utilizado na construção civil como concreto estrutural, com a observação de que deve seguir um parâmetro para cada tipo de construção.

3.1.3 Resistência à compressão

Obedecendo os procedimentos da NBR 5739/2018 [11], os valores encontrados de resistência nos 28 dias de cura estão representados na Tabela 5.

Tabela 5 – Ensaio de resistência à compressão [Autoria própria]

| % de substituição | Resistência a compressão aos 28 dias (Mpa) | Resistência a compressão aos 28 dias (tf) | Concreto Fck | Data de moldagem | SLUMP (mm) | 28 dias Data |
|----------------------|--|---|--------------|------------------|------------|--------------|
| TR | 10,94 | 8,59 | 25 Mpa | 23/10/2021 | 10 | 21/11/2021 |
| 5% | 8,29 | 6,50 | 25 Mpa | 24/10/2021 | 13 | 22/11/2021 |
| 7,5% | 14,63 | 11,51 | 25 MPa | 25/10/2021 | 53 | 23/11/2021 |
| 10% | 12,81 | 10,06 | 25 MPa | 26/10/2021 | 66 | 24/11/2021 |
| 12,5% | 8,61 | 6,76 | 25 MPa | 27/10/2021 | 75 | 25/11/2021 |
| DESVIO PADRÃO | 2,73 | 2,14 | | | 0,48 | |
| Média | 10,94 | 8,59 | | | 9,6 | |
| K | 1,2 | 1,2 | | | 1,2 | |
| Xmáx | 12,14 | 9,79 | | | 10,8 | |
| Xmín | 9,74 | 7,39 | | | 8,4 | |

No traço de referência TR foi obtido o valor de 10,94 Mpa e para o traço com 5% houve uma diminuição para 8,29 Mpa. Já para 7,5% de substituição encontrou-se 14,63 Mpa, em 10% foi de 12,81 MPa e para 12,5% o valor de 8,61 Mpa. Na Figura 16 demonstra com detalhes os resultados encontrados no ensaio de compressão uniaxial.

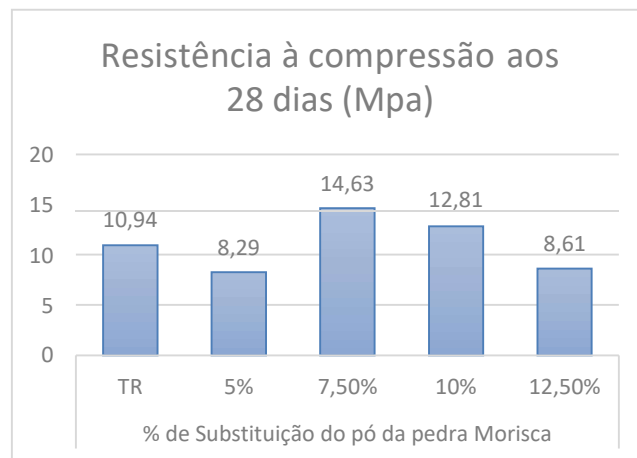


Figura 16 – Resistência à compressão [Autoria própria]

Ao analisar os resultados, observou-se que o traço de referência não atingiu o valor de resistência esperado que seria de 25 Mpa. Na medida que foi feita a substituição para 5% a resistência diminuiu mais, com 7,5% houve um aumento e partir das demais substituição tornou a diminuir. Em todos os traços não obtida a resistência especificada, sendo assim, nenhum dos traços tornou-se viável para a utilização em concretos estruturais.

Fato que deve ser explicado pela escolha do fator água/cimento, que foi iniciado pelo concreto com substituição de 5% de pó da pedra Morisca com intuito de criar um parâmetro para os demais traços, assim foi adotado o fator de 0,64, pois ao colocar água foi observado que o composto continuava seco com as demais quantidades com um fator menor, com isso tornou-se inviável para a obtenção dos requisitos da NBR 6118/2021 [7], que estabelece o fator água/cimento máximo de 0,60 para um concreto armado de 25 MPa, com classe de agressividade II. Tornando esse valor uma possível relação com a diminuição da resistência a compressão.

Os resultados do RBRO no qual foi feita a comparação mostrou valores satisfatórios aos 28 dias, obtendo 29,92 MPa, 29,69 MPa, 29,96 MPa, 28,91 MPa e 25,54 MPa para TR e para as porcentagens de substituição de 5%, 7,5%, 10% e 12,5%, respectivamente (ver Figura 17).

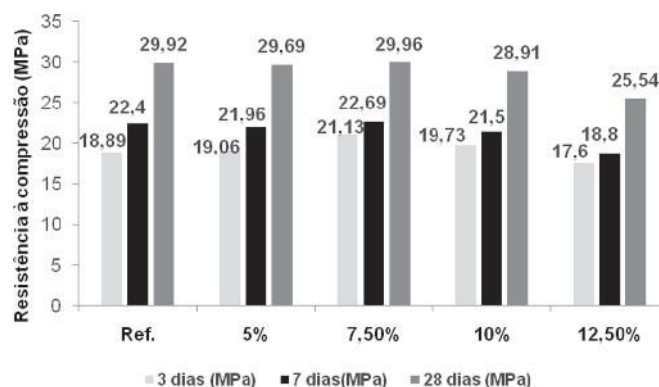


Figura 17 – Resistência a compressão do RBRO [6]

4. CONCLUSÃO

Por meio da análise dos dados obtidos foi possível concluir que o pó da pedra Morisca diminui a resistência à compressão do concreto em todas as substituições adotadas, porém não foi possível comparar com o traço de referência de maneira satisfatória, pois o mesmo não obteve a resistência esperada de 25 MPa, devido ao fator água/cimento adotado no traço de 5% que serviu como parâmetro para os demais traços, ou até mesmo pelo pó da pedra ter teor de finos menor que o cimento portland.

Mas mesmo não atingindo valores positivos para o uso em concretos estruturais, a análise de como o material em questão pode influenciar nas características do concreto como um aglomerante é inovadora e trará benefícios para o campo da ciência e da construção civil. Visto que não há registros de pesquisas sobre esse tema utilizando especificamente a pedra Morisca.

Este estudo traz benefícios para a construção civil no que tange a respeito da economia do aglomerante cimento Portland, pois a substituição parcial do pó da pedra em questão faz com haja a redução de sua utilização e se julgar pela proporcionalidade em que as obras utilizam a quantidade de concreto, tem-se a noção dessa economia, outro fator é a descoberta de outra opção de aglomerante que poderia ser disponibilizada a indústria da construção civil, a fim de ser utilizada como concreto não estrutural.

REFERÊNCIAS

- [1] COUTO, J. A. S. et al. O concreto como material de construção. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v.1 , n.17, p. 49-58, 2013.
- [2] MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- [3] NASCIMENTO, I. E. **Estudo da utilização de resíduo de quartzito como agregado miúdo em concreto convencional**. 2018. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Angicos. 2018.
- [4] DREYER, T. **Potencialidade dos quartzitos do complexo Porongos da região de Torrinhas para seu aproveitamento na construção civil**. 2016. Dissertação (Graduação em Geologia)– Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2016.
- [5] NUNES. T, M. **Estudo de viabilidade da utilização de resíduo de rochas ornamentais na produção de concreto: uma revisão literária**. 2020. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2020.
- [6] TEIXEIRA, F. R.; MAGALHÃES, F. C.; WALLY, G. B.; SELL JÚNIOR, F. K.; PALIGA, C. M.; TORRES, A. S. Uso do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais como substituto parcial ao aglomerante na produção de concretos estruturais. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 501–514, 2020, DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952020000300004>.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade

ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO ECONOMIA CIRCULAR, DIGITALIZAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

SILVA, Talita Evelyn Paulino da¹; LIMA e SILVA, Daniel Marcos de²; CALDAS, Lucas Rosse³, CARVALHO, Michele Tereza Marques⁴

¹ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, talitaevelyn@hotmail.com, 0000-0003-1380-4684

² Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, daniel_m.eng@hotmail.com, 0000-0001-8883-8729

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, lucas.caldas@fau.ufrj.br

⁴ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, micheletereza@unb.br

RESUMO

Diante do crescente consumo de matérias-primas e resíduos gerados pelas atividades, a economia circular tem grande importância pelo benefício resultante para a sociedade. A economia circular apresenta um ciclo completo dos produtos e a digitalização complementa esse processo para proporcionar a sustentabilidade com a utilização de produtos inteligentes. O objetivo deste estudo foi investigar a literatura científica da pesquisa a integração de economia circular, digitalização e sustentabilidade. Por meio da base de dados *Scopus e Web of Science* revisou-se o total de 30 publicações com mais citações na literatura. Os assuntos mais abordados nas publicações foram economia circular, digitalização, sustentabilidade, desenvolvimento sustentável, fabricação, negócio e capacidade. Observou-se que a economia circular, digitalização e sustentabilidade são aplicadas em diferentes áreas de serviço, mas mesmo assim é possível aplicar a integração entre eles. Além disso, a partir da revisão da literatura, infere-se há tendência e indicação de uso da digitalização, como a Internet das Coisas, para ocorrer a transição e evolução da economia circular, considerando melhoria de design, otimização de infraestrutura e operação de modelos de negócios circulares.

Palavras-chave: Economia circular; digitalização; sustentabilidade; integração.

ABSTRACT

Given the growing consumption of raw materials and waste generated by activities, the circular economy is of great importance for the resulting benefit to society. The circular economy presents a complete product cycle and digitization complements this process to provide sustainability with the use of smart products. This study aimed to investigate the scientific literature of research on the integration of circular economy, digitization and sustainability. Through the Scopus and Web of Science database, a total of 30 publications with the most citations in the literature were reviewed. The topics most addressed in the publications were circular economy, digitization, sustainability, innovation, challenge, sustainable development and manufacturing. It was observed that the circular economy, digitalization and sustainability are applied in different service areas, but even so, it is possible to apply the integration between them. In addition, from the literature review, it is inferred that there is a trend and indication of the use of digitalization, such as the Internet of Things, for the transition and evolution of the circular economy to occur, considering design improvement, infrastructure optimization and model operation. business card.

Keywords: Circular economy; digitization; sustainability; integration.

1. INTRODUÇÃO

Perante o cenário desafiador de mudanças mundiais, alto nível de ocupação humana, consumo crescente, onde matérias-primas estão diminuindo e os resíduos gerados pelas atividades humanas aumentando, o alto índice de emissões de gases

nocivos, além de inúmeros outros fatores, torna-se extremamente necessária a busca por soluções e alternativas sustentáveis.

A Economia Circular (EC) remete para a ideia de um sistema econômico baseado na eficiência dos recursos, diminuição da geração e aproveitamento de resíduos, uso de fontes renováveis, baixas emissões de CO₂ e inovação digital [1]. A EC é vista como um processo-chave para promover a dissociação entre o elevado consumo de recursos e o crescimento econômico [2].

Os produtos, serviços e processos de trabalho existentes relacionados à construção podem ser modificados pela Inteligência Artificial (IA), na qual consiste na capacidade de um computador ou máquina realizar atividades como da mente humana, como *chatbots*, sistemas de reconhecimento facial, assistentes digitais controlados por voz e tradutores de idiomas [3]. Dentre as possibilidades de IA, ocorrem oportunidades de transição para uma economia circular, considerando melhoria de design, otimização de infraestrutura e operação de modelos de negócios circulares.

A sustentabilidade está sendo cada vez mais importante. A busca por estruturas que sejam sustentáveis e adaptáveis está aumentando. Uma alternativa para aplicar a sustentabilidade na construção civil é optar por uma construção mais industrializada. Esse tipo há menor consumo e perdas de materiais, otimiza-se a mão de obra, minimiza retrabalhos e proporciona redução da quantidade de resíduos gerados.

Neste sentido, o objetivo do artigo foi investigar na literatura científica a integração da economia circular, digitalização e sustentabilidade, identificando as principais lacunas científicas e consolidação de informações de bibliometria e cientometria. O artigo contribui por tentar integrar temas ligados à economia circular, digitalização e sustentabilidade por meio de diferentes áreas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente, definiu-se o meio de seleção de busca pelas publicações de artigos científicos, sendo "*Circular economy*" and "*digitization*" and "*sustainability*". O operador de proximidade foi utilizado para ter a palavra conforme foi escrito, sem derivações. Na Figura 1 aborda o fluxograma de identificação, seleção, inclusão e análise da revisão.

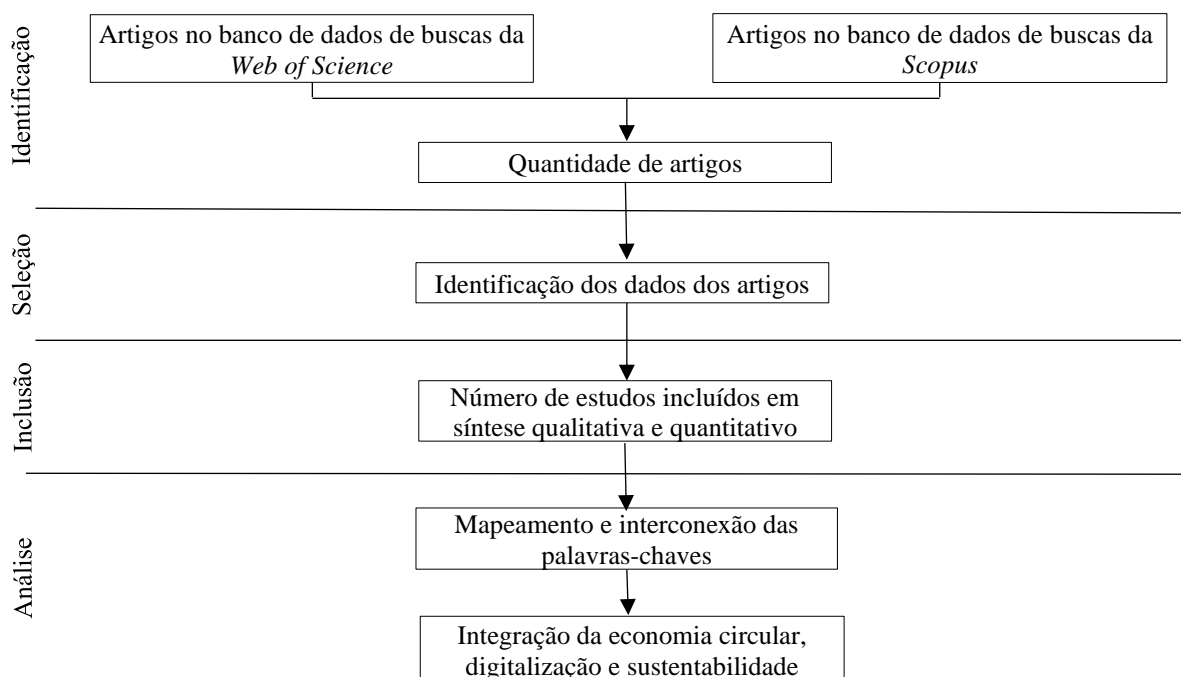


Figura 1 – Fluxograma de revisão dos artigos.

Na pesquisa da base de dados *Web of Science* apresentou 6 artigos, e *Scopus*, 22 artigos. Destaca-se que verificação foi limitada para a seleção ser encontrada no título, resumo e/ou palavras-chaves.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Alguns parâmetros bibliométricos fornecidos pela base de dados *Web of Science* e *Scopus* foram utilizados para indicar o status da integração da economia circular, digitalização e sustentabilidade. Os parâmetros utilização são: (i) número total de tipos de documentos, (ii) número de publicação por ano, (iii) número de citações e (iv) principais palavras-chaves.

Para explorar as tendências de pesquisa com os três assuntos em questão, analisou-se primeiro a bibliometria de todas as publicações da revista *Scopus* e *Web of Science* (Figura 2), sendo apresentado 23 e 7 publicações, respectivamente, e com determinadas quantidades de citações por outros artigos.

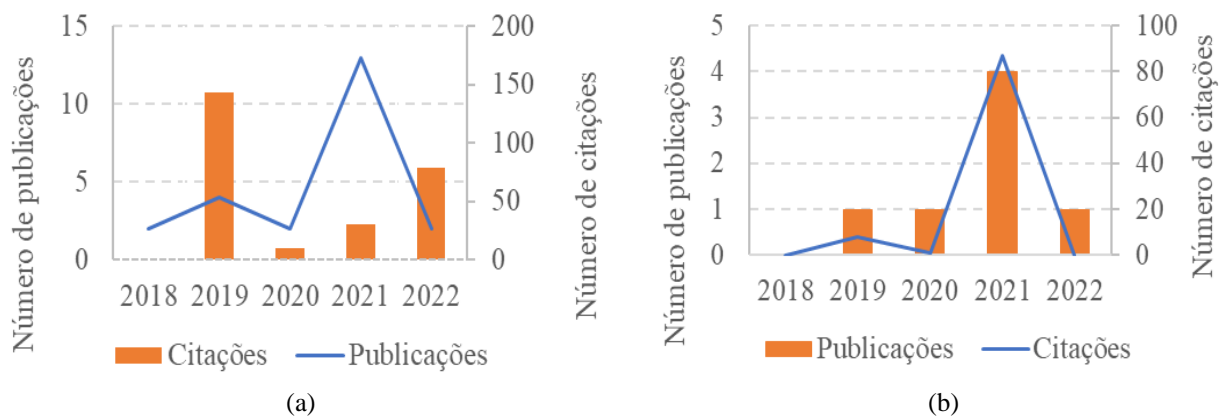


Figura 2 – Quantitativo anual de publicações e citações (a) da *Scopus* e (b) da *Web of Science*.

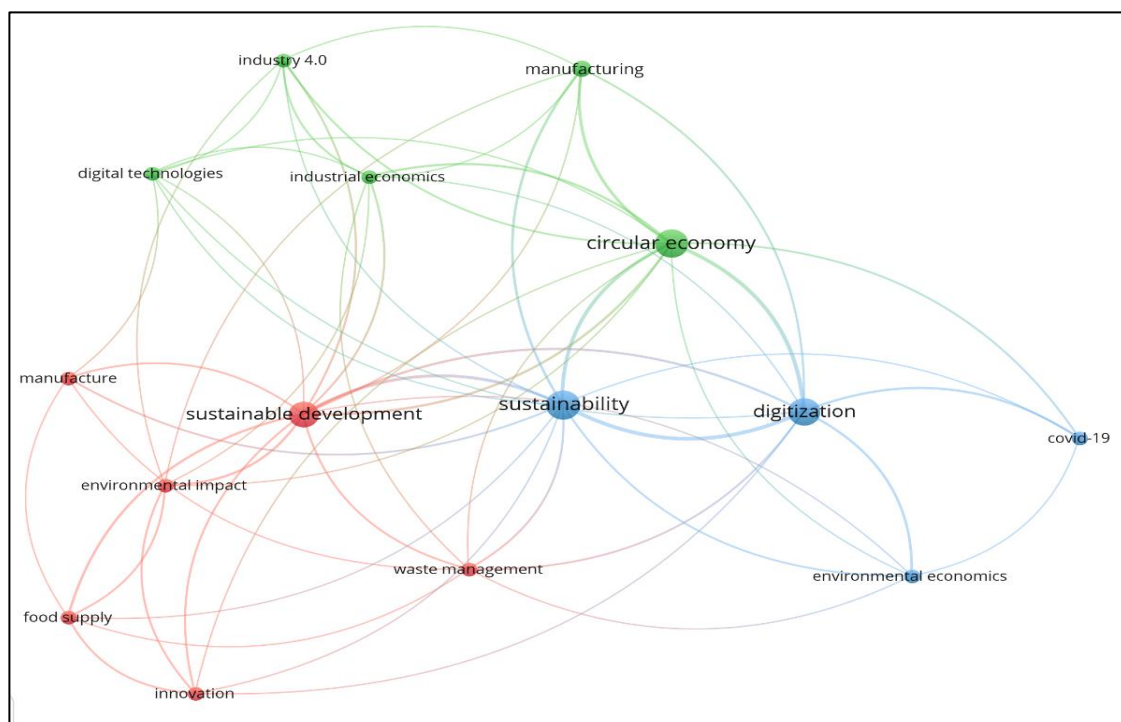


Figura 3 – Palavras chaves mais utilizadas na revista *Scopus*.

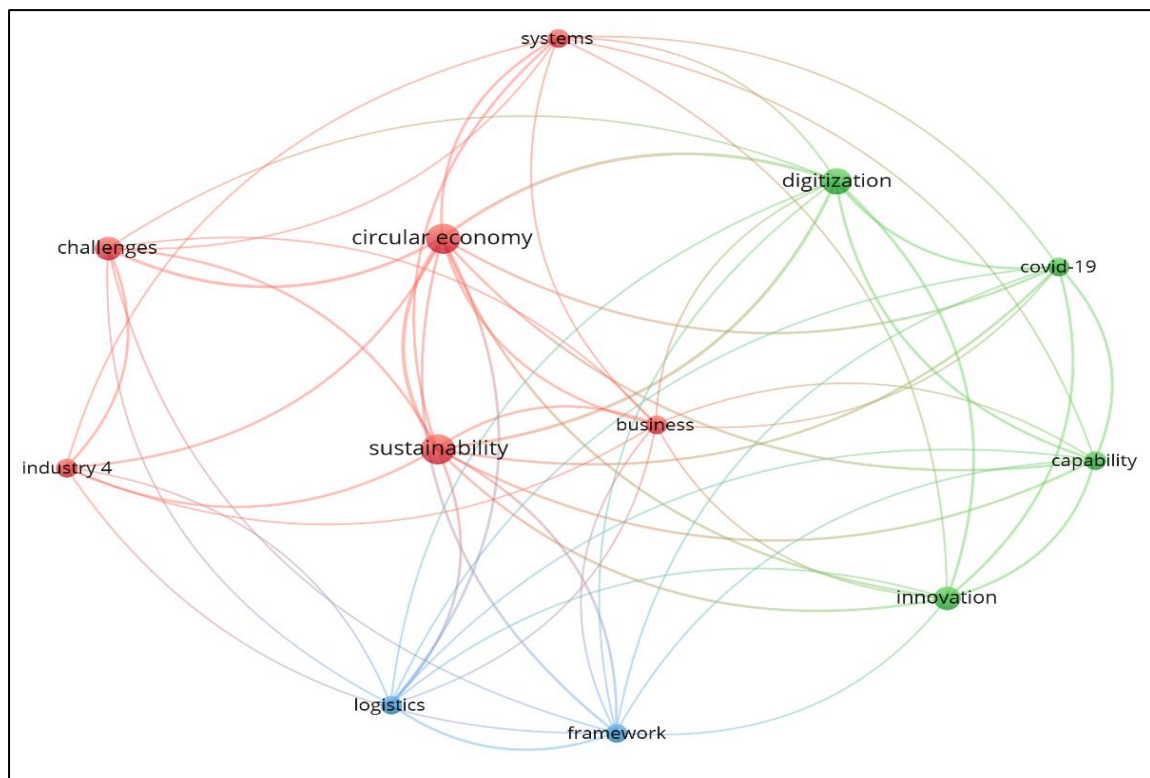


Figura 4 – Palavras chaves mais utilizadas na revista *Web of Science*.

As análises em rede foram realizadas para identificar as palavras chaves utilizadas com mais frequência, usando o pacote de *software VOSviewer 1.6.18*. Observou-se que as palavras chaves mais utilizadas na revista Scopus (Figura) e destacou-se as cinco palavras-chaves: economia circular, digitalização, sustentabilidade, desenvolvimento sustentável e fabricação. Já na revista *Web of Science* (Figura 4), destacou-se as cinco palavras-chaves: economia circular, sustentabilidade, digitalização, negócio e capacidade. Como “economia circular”, “sustentabilidade”, “digitalização” foram as palavras de seleção dos artigos, elas ficaram em maior destaque.

4. ECONOMIA CIRCULAR

Para adotar a economia circular é necessário desvincular ao estado comum, que é a economia linear. É evidente que o modelo econômico predominante de “pegar, fazer, usar e descartar” – ou a economia linear – agora é incompatível com o sustento social e o crescimento econômico sustentável [4]. Assim, como na Figura 5 [5] economia linear é um ciclo incompleto, já a economia circular mantém o produto em uso por um tempo maior e é reciclado no final da vida útil.



Figura 5 – Esquemática de diferença da economia linear e economia circular [5].

A economia circular é aplicada na engenharia e em outras áreas também. Fernandes *et al.* [6] discutiu a importância do design de sistemas exponenciais na promoção da inovação social e na influência de estilos de vida colaborativos, apresentando o crescimento de um modelo de negócio "Design de Sistema Exponencial para Sustentabilidade no Design de Moda".

O modelo ReSOLVE, desenvolvido pela Ellen MacArthur Foundation, é um dos modelos de negócio de economia circular com a estratégia de regenerar, compartilhar, otimizar, virtualizar, ter ciclo e trocar. Em vista disso, Nandi *et al.* [7] desenvolveu uma série de cenários institucionais interrompidos comumente (Tabela 1), sendo abordado especificamente sobre o exemplo da convivência da sociedade com a COVID-19, que consumidores e fornecedores inovaram para haver adaptação diante da situação. Jabłoński e Jabłoński [8] também aborda sobre o método ReSOLVE como verificação de requisitos da economia circular.

Tabela 1 – Codificação de casos de uso de interrupção COVID-19 usando o modelo ReSOLVE.

| Casos de uso COVID-19 | Economia Circular e modelo ReSOLVE |
|--|--|
| Escassez de suprimentos de alimentos essenciais em mercearias locais. Fonte: Guan <i>et al.</i> (2020) | Compras online e delivery. (Virtualize) Pegue alimentos de tamanho industrial e reembale para uso do consumidor em supermercados. (Compartilhar) Os consumidores podem adotar opções de substituição de alimentos. |
| Restrições e interrupções de viagem. Fonte: Moyer e Ruane (2020); Guan <i>et al.</i> (2020) | Crie recursos online e virtuais para reuniões de negócios essenciais. (Virtualizar) Localizar e identificar fontes de entrega de itens essenciais, como alimentos e suprimentos médicos. (Regenerar) Desenvolver uma rede de cooperação com os fornecedores de materiais primários e intermediários para evitar a interrupção da produção (Compartilhar). |
| A compra online de mercadorias levou ao aumento dos fluxos de geração de resíduos Fonte: Leal Filho <i>et al.</i> (2021) | Os fornecedores de alimentos e bens mudaram para materiais recicláveis e renováveis. (Regenerar) Programas estão em vigor para reutilização e/ou embalagem de materiais e caixas. (Compartilhar) As iniciativas de remoção ou redução de resíduos de embalagens estão em vigor. (Otimizar) Materiais prontos para reciclagem (Ciclo). |
| Uso de reuniões virtuais e à distância comunicação do distanciamento social. Fonte: Woolston (2020) | Use reuniões virtuais para discutir excessos de fornecimento, como fluxos de resíduos, manutenção de água e interrupções na distribuição. (Ciclo) Desenvolver recursos de comunicação remota para realizar reuniões virtuais à distância, discutir planejamento de produtos e capacidade entre eles, somando-se ao planejamento de sustentabilidade em toda a cadeia de suprimentos. (Compartilhar) Use a opção de reunião virtual para aprimorar a capacidade organizacional de realizar produção, auditoria de inventário e ajustes de capacidade virtualmente por meio de configurações de vídeo (Virtualizar). |

Fonte: Adaptado [9]

5. DIGITALIZAÇÃO

As mudanças climáticas, o consumo de materiais e o consumo de energia estão cada vez mais disponíveis com serviço. A revolução digital está impactando positivamente no crescimento de produtos e serviços ao mesmo tempo. Assim, para Halstenberg *et al.* [10], os produtos são combinados com capacidades de comunicação e processamento para se tornarem

produtos inteligentes. Esses compreendem os Sistemas Ciber Físicos e Sistemas de Produção Ciber Físicos com diversos adicionais baseado na internet, incluindo determinados meios de inteligência e de comunicação.

D'amico *et al.* [11] destaca que as cidades são caracterizadas por relações interdependentes entre autoridades, cidadãos, empresas, escolas, sindicatos, serviços públicos, e inúmeras outras possibilidades. As tecnologias digitais relacionadas com a Cidade 4.0, como: sensores, estações de monitoramento, câmeras digitais, sistemas de rastreamento, análise de Big Data, inteligência artificial (IA), computação em nuvem e redes inteligentes, *Internet of Things* (IoT), e outras tecnologias da informação e computação (TIC) foram identificadas como essenciais na economia circular voltada para os meios urbanos. Assim, sua integração com tudo que caracteriza o meio urbano pode permitir que as cidades colem, monitorem, analisem e compartilhem dados para melhorar produtos e serviços, proporcionando capacidade para melhorar a qualidade de vida.

Assim, devido à digitalização, mudanças demográficas e uma crescente demanda por sustentabilidade, as empresas de manufatura são impulsionadas a evoluir em processos e tecnologias [12].

5.1 Economia Circular na Era Digital

A indústria 4.0 é significativa para a digitalização. Ela configura como um paradigma emergente impulsionado por dados e focado na criação de inteligência de manufatura através do uso de redes ubíquas com fluxos de dados em tempo real [13]. Esse sistema permite que objetos e processos tenham uma representação virtual na nuvem.

Para Okorie *et al.* [4], a integração de sistemas de operação de fabricação e tecnologias de informação e comunicação é um sistema recente. A indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial é um fenômeno dirigido tanto por um impulso de aplicação quanto por um impulso tecnológico.

Na pesquisa de Shang *et al.* [14] constatou que a ausência de conhecimento sobre as tecnologias e abordagens circulares da Indústria 4.0 foi a primeira barreira seguida pelos problemas associados à segurança de dados na gestão de relacionamento em fluxos circulares. A maioria dos funcionários que trabalham em empresas de negócios não estão familiarizados com o desenvolvimento de tecnologias como a Indústria 4.0 [14].

6. SUSTENTABILIDADE

Um dos maiores desafios da atualidade é a mudança nos sistemas produtivos e de consumo para promover um desenvolvimento sustentável. Cerca de 55% da população mundial vive em cidades que geram mais de 85% do PIB global, e são responsáveis por 75% do consumo de recursos naturais globais, 75% das emissões globais de gases de efeito estufa, e 50% da produção global de resíduos. Portanto, é fundamental o desenvolvimento de modelos urbanos que proporcionem às cidades princípios de economia circular como oportunidade para uma economia sustentável e uma transição urbana digitalizada [11].

O desafio dos *stakeholders*, como em qualquer outra atividade, é satisfazer às demandas, reduzindo os impactos ambientais e oferecendo produtos e serviços sustentáveis. Para diminuir as emissões de gases nocivos, o esgotamento dos recursos e os resíduos gerados, faz-se necessário a transição urgente para o modelo circular. Em todos os setores produtivos a gestão de matéria-prima e de geração de resíduos são fatores extremamente relevantes.

De acordo com Mieke *et al.* [12], considerando a necessidade de preservar os padrões de vida, é necessária uma satisfação adequada das necessidades materiais das gerações futuras. Porém, isso só será possível com a adoção de técnicas de produção baseadas em reutilização e reciclagem, uma vez que não existe disponibilidade infinita de recursos.

Os resíduos provenientes de equipamentos elétricos e eletrônicos são considerados misturas não homogêneas, complexas, compostas por componentes eletrônicos, e potencialmente tóxicos. Ao longo dos anos o comportamento dos consumidores mudou, o que contribuiu para o aumento na geração desse tipo de resíduo em todo o mundo [15].

6.1 Inovação e Desafio

O mundo dos negócios está mudando rapidamente, não apenas graças à digitalização e transformação tecnológica, mas também para enfrentar os desafios relacionados ao meio ambiente e às mudanças climáticas e reduzir seu impacto em termos de resíduos, emissões e matérias-primas [16].

A digitalização é um fator facilitador na transição para uma economia circular. Felice e Petrillo [17] identificaram vários desafios ao longo do caminho da digitalização e sustentabilidade, o que exige uma abordagem integrada, coordenada e cooperada de diversos setores e países. Os governos devem promover iniciativas para incentivar e regular o setor de inteligência artificial e big data, que são consideradas as principais tecnologias para o desenvolvimento de modelos circulares. Também deve considerar o desenvolvimento de plataformas digitais globais como ferramentas para um uso de recursos capazes de interceptar todos os stakeholders na cadeia de oferta a partir de perspectiva global de mercado, a fim de otimizar custos de desperdícios em níveis também globais.

Em situações de crise é importante ter a inovação para alcançar objetivos. Sparacino *et al.* [16] destacou sobre a crise do COVID-19 que acelerou o processo de transformação. Segundo Dominish *et al.* [18], implementação das estratégias de eficiência de materiais são limitadas pelo projeto complexo, tecnologia antiga, degradação ou dissipação de uso, a indisponibilidade de peças de reposição, e a capacidade de compartilhamento ou manutenção dos produtos. As estratégias para mudança não são somente com custos, considera-se também as oportunidades de negócios. Sparacino *et al.* [16] destacou que para atingir o objetivo as empresas precisam de ferramentas de medição fáceis e acessíveis.

Os desafios para a crise têm sido a escassez de mercadorias, a incapacidade de origem de produtos em uma estrutura de transação presencial e uma incompatibilidade entre os tamanhos e quantidades de produtos disponíveis em relação ao necessário [7].

As condições impostas pela pandemia de COVID-19 impactaram de forma negativa o dia a dia das pessoas. A escassez de alimentos, bens de consumo, complexidade de resolver as questões de saúde, dentre inúmeros outros fatores, tornou ainda mais importante a necessidade de preservar, regenerar e restaurar os recursos naturais.

7. INTEGRAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR, DIGITALIZAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

A integração de informações é essencial para os parâmetros proporcionarem uma relação e resultar em uma ideia central. A economia circular, digitalização e sustentabilidade são elementos diferentes, mas podem ter uma interação entre eles. É visto que a economia circular é um sistema econômico que reduz a linearidade do sistema tradicional, desacoplando o crescimento econômico do esgotamento dos recursos. Isso favorece o uso de processos regenerativos para manter a qualidade dos recursos e aumentar a longevidade no sistema econômico, conforme Reslan *et al.* [19]. Para tal, é necessário normatizar os sistemas produtivos para que sejam sustentáveis, melhorar a eficiência dos processos reduzindo desperdício.

Çetin *et al.* [3] citam que a transformação digital tem sido lenta na indústria de ambiente construído, mas houve desenvolvimentos consideráveis nas últimas décadas. Após o desenvolvimento e o uso cada vez mais frequente da tecnologia BIM, tecnologia *blockchain* e a Internet das Coisas (IoT) para gerenciamento de projetos de edifícios vários avanços foram alcançados. Isso é aplicado principalmente no que se refere à projetos mais eficientes, modelagens mais próximas do real, quantitativos mais assertivos, e inúmeras outros benefícios.

Plataformas BIM e complementos foram desenvolvidos para estimar a recuperação de materiais em várias alternativas de design, para facilitar fluxos eficientes de dados e colaboração da cadeia de suprimentos. Os sistemas de IoT foram projetados para rastrear materiais facilmente para reutilização nas etapas do ciclo de vida. Isto é proporciona eficiência nos processos.

A reciclagem promove a conservação de energia e redução nas emissões de carbono, pois o consumo de energia para fabricar um novo produto a partir de materiais recuperados é bem menor do que para produzir os mesmos produtos a partir do zero [20]. Além disso, ressalta-se que a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos são fundamentais para recuperação de recursos e é o caminho para alcançar um nível de desperdício zero.

Portanto, as principais recomendações para o avanço da aplicação da integração da economia circular, digitalização e sustentabilidade foi resumido na Tabela 2. Nota-se que é importante utilizar materiais que possuem ciclos de reciclagem, pois isso melhora e prolonga a vida útil dos materiais. Além disso, incentivos governamentais, conscientização, planejamento da vida útil até o descarte de materiais são essenciais para o avanço da sustentabilidade. Outro ponto a ser destacado é a utilização de modelos de negócios que apresentam estratégias eficientes e que podem ser beneficiados com o uso da indústria 4.0.

Tabela 2 – Recomendações para avanços da sustentabilidade.

| Item | Recomendação |
|------------------------|---|
| Ideias lineares | Utilização de materiais que possuem ciclos de reciclagem |
| Viabilidade financeira | Incentivos governamentais para promover a economia circular |
| Sociedade | Conscientização para ocorrer mudança |
| Descarte de material | Planejamento da vida útil dos materiais até o descarte adequado |
| Modelos de negócios | Adaptação e utilização dos modelos estratégicos para negócios |
| Indústria 4.0 | Utilização dos benefícios tecnológicos para promover processo eficiente e sustentável |

Fonte: Autores

Desse modo, o crescimento das cidades e a geração de resíduos urbanos tem sido uma questão preocupante de forma global, e muito mencionada nos artigos lidos. A disposição dos materiais na natureza pode causar sérios problemas, o que torna o fato mais preocupante. A grande maioria dos materiais podem ser altamente aproveitados, e várias soluções neste sentido estão sendo desenvolvidas. Um dos assuntos mais abordado na literatura foi a reciclagem, que pode contribuir de forma significativa para a recuperação e conservação de recursos naturais, redução nas emissões de carbono, redução na intensidade das mudanças climáticas, e até mesmo ser uma oportunidade de negócio para ocorrer a economia circular.

8. CONCLUSÃO

A economia circular proporciona uma cadeia produtiva coerente, eficiente e uso racional de recursos, reutilização e reciclagem. Além disso, ela está integrada na maioria dos assuntos presente nos sistemas produtivos de diversas áreas. Para ajudar a resolver os problemas da atualidade e garantir um futuro sustentável estão sendo desenvolvidas tecnologias capazes de transformar produtos, serviços e processos por meio da digitalização, obtendo menor desperdício e maior eficiência e qualidade. A Indústria 4.0, *Big Data*, Internet das Coisas (IoT), tecnologia *blockchain*, Inteligência Artificial (IA), *machine learning*, tecnologia BIM e outras tecnologias da informação e computação estão sendo essenciais para a economia circular, consequentemente, para a sustentabilidade.

A pesquisa mostrou que os assuntos estão totalmente integrados e interligados. Economia circular, digitalização, sustentabilidade, são termos presentes constantemente, dada sua importância e relevância. Assim, nota-se que todas as áreas estão buscando desenvolver suas atividades de acordo com valores sustentáveis. Espera-se que em um futuro próximo isso seja cada vez mais comum na sociedade.

REFERÊNCIAS

- [1] GARCÍA-MUIÑA, F. *et al.* (2021). **Industry 4.0-based dynamic Social Organizational Life Cycle Assessment to target the social circular economy in manufacturing**. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 327, p. 129-439
- [2] VENANZI, D. *et al.* (2022). **Economia circular: estudo de caso na empresa ABC**. *Revista Científica Hermes*, n. 30, p. 286-301.
- [3] ÇETIN, S. *et al.* (2021) **Circular Digital Built Environment: an emerging framework**. *Sustainability: MDPI*, v. 13, n. 11, p. 6348. MDPI AG. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/su13116348>>. Acesso em: 01 de Junho de 2022.
- [4] OKORIE, O. *et al.* (2018). **Digitisation and the Circular Economy: A Review of Current Research and Future Trends**. *Energies*, v. 11. DOI: 10.3390/en11113009.

- [5] SUAVÉ, S. *et al.* (2016). **Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research.** Environmental Development, Canadá, v. 17, p. 48-56. DOI: 10.1016/j.envdev.2015.09.002.
- [6] FERNANDES, S. *et al.* (2019). **Exponential System Strategy for Sustainability in Fashion Design.** Procedia CIRP, v. 84, p. 447-450. DOI: 10.1016/j.procir.2019.04.283.
- [7] NANDI, S. *et al.* (2021). **Redesigning Supply Chains using Blockchain-Enabled Circular Economy and COVID-19 Experiences.** Sustainable Production And Consumption, v. 27, p. 10-22. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.019>>. Acesso em: 01 de Junho de 2022.
- [8] JABŁOŃSKI, A.; JABŁOŃSKI, M. (2020). **Social Business Models in the Digital Economy.** Palgrave Macmillan, v. 1, p. 1-228. DOI: 10.1007/978-3-030-29732-9
- [9] NANDI, S. *et al.* (2021). **Conceptualising Circular economy performance with non-traditional valuation methods: Lessons for a post-Pandemic recovery.** International Journal of Logistics Research and Applications. DOI: 10.1080/13675567.2021.1974365.
- [10] HALSTENBERG, F. A. *et al.* (2019). **Leveraging Circular Economy through a Methodology for Smart Service Systems Engineering.** Sustainability, v. 11. DOI: 10.3390/su11133517.
- [11] D'AMICO, G. *et al.* (2021). **Digital Technologies for Urban Metabolism Efficiency: lessons from urban agenda partnership on circular economy.** Sustainability: MDPI, v. 13, n. 11, p. 6043. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/su13116043>>. Acesso em: 30 de maio de 2022.
- [12] MIEHE, R. *et al.* (2019) **Enabling bidirectional real time interaction between biological and technical systems: structural basics of a control oriented modeling of biology-technology-interfaces.** Procedia CIRP, v. 81, p. 63-68. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.012>>. Acesso em: 30 de maio de 2022.
- [13] ÁVILA-GUTIÉRREZ, M. J. *et al.* (2020). **Eco-Holonic 4.0 Circular Business Model to Conceptualize Sustainable Value Chain towards Digital Transition.** Sustainability, v. 12. DOI: 10.3390/su12051889.
- [14] SHANG, C. *et al.* (2022). **Evaluation of circular supply chains barriers in the era of Industry 4.0 transition using an extended decision-making approach.** Journal of Enterprise Information Management. Disponível em: <<https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1108/JEIM-09-2021-0396>>. Acesso em: 30 de maio de 2022.
- [15] KUMAR, A. *et al.* (2022). **Sustainable waste electrical and electronic equipment management guide in emerging economies context: a structural model approach.** Journal Of Cleaner Production, v. 336, p. 130-391. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130391>>. Acesso em: 30 de maio de 2022.
- [16] SPARACINO, E. *et al.* (2021). **An integrated model for supporting aware decisions of companies in a circular and sustainable economy transition.** Procedia Environmental Science, Engineering and Management, v. 8, p. 106-115.
- [17] FELICE, F.; PETRILLO, A. (2021). **Green Transition: the frontier of the digicircular economy evidenced from a systematic literature review.** Sustainability: MDPI, v. 13, n. 19. MDPI AG. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/su131911068>>. Acesso em: 30 de maio de 2022
- [18] DOMINISH, E. *et al.* (2018). **“Slowing” and “Narrowing” the Flow of Metals for Consumer Goods: Evaluating Opportunities and Barriers.** Sustainability, v. 10. DOI: 10.3390/su10041096.
- [19] RESLAN, M. *et al.* (2021). **Circular Economy: a product life cycle perspective on engineering and manufacturing practices.** Sustainability, MDPI. Basel, Switzerland, p. 851-858.

[20] KURNIAWAN, Tonni Agustiono *et al.* (2021). **A societal transition of MSW management in Xiamen (China) toward a circular economy through integrat.** *Environmental Pollution*, v. 277, p. 116-741. Elsevier BV. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116741>>. Acesso em: 30 de maio de 2022.