

TECNOLOGIA, AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE

Coletânea de Artigos

Organizadores:

João da Costa Pantoja
Márcio Augusto Roma Buzar
Naiara Guimarães de Oliveira Porto



Universidade de Brasília

	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Reitora: Márcia Abrahão Moura Vice-Reitor: Henrique Huelva Decana de Pesquisa e Inovação: Maria Emília Machado Telles Walter Decanato de Pós Graduação: Lucio Remuzat Rennó Junior	
Diretor da FAU Marcos Thadeu Queiroz Magalhães Vice Diretoria da FAU Cláudia da Conceição Garcia Coordenadora de Pós-Graduação: Luciana Saboia Fonseca Cruz Coordenadora do LaSUS: Marta Adriana Bustos Romero Coordenador do LaBRAC: João da Costa Pantoja	FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO - UnB
Coordenação de Produção Editorial, Preparação, Revisão e Diagramação: João Vitor Lopes Lima Farias Capa: Ana Luiza Alves de Oliveira Stefano Galimi	
Conselho Editorial Humberto Salazar Amorin Varum Osvaldo Luiz de Carvalho Souza Yara Regina Oliveira Paulo de Souza Tavares Miranda	
Organização: João da Costa Pantoja Marcio Augusto Roma Buzar Naiara Guimarães de Oliveira Porto	

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Tecnologia, ambiente e sustentabilidade [livro eletrônico] : coletânea de artigos / organização João da Costa Pantoja , Marcio Augusto Roma Buzar , Naiara Guimarães de Oliveira Porto. -- 1. ed. -- Brasília, DF : LaSUS FAU : Editora da Universidade de Brasília-UnB, 2021.
ePDF

ISBN 978-65-992384-4-4

1. Artigos - Coletâneas 2. Meio ambiente 3. Sustentabilidade ambiental 4. Tecnologia I. Pantoja, João da Costa. II. Buzar, Marcio Augusto Roma. III. Porto, Naiara Guimarães de Oliveira.

21-63042
CDD-660.02

Índices para catálogo sistemático:

1. Tecnologia 660.02 Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

1ª Edição

FAU - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / LaSUS – Laboratório de Sustentabilidade Aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo.
Caixa Postal 04431, CEP 70842-970 – Brasília-DF. Telefones: 55 61 3107-7458. Email: lasus@unb.br / www.lasus.unb.br

ORGANIZADORES E AUTORES

João da Costa Pantoja | Organizador e Autor | Brasil

Márcio Augusto Roma Buzar | Organizador e Autor | Brasil

Naiara Guimarães de Oliveira Porto | Organizador e Autor | Brasil

Alexandre M C Dutra | Autor | Brasil

Ana Luiza Alves de Oliveira | Autor | Brasil

Clarice C. D. da Silva | Autor | Brasil

Daniel Richard Sant'Ana | Autor | Brasil

Eduardo Bicudo de Castro Azambuja | Autor | Brasil

Francisco Afonso de Castro Júnior | Autor | Brasil

Hillary Damaceno de Brito | Autor | Brasil

Hugo Rodrigues Pinheiro | Autor | Portugal

Iberê Pinheiro de Oliveira | Autor | Brasil

Igor Rafael Mendes Guimarães Alcantara | Autor | Brasil

Joára Cronemberg Ribeiro Silva | Autor | Brasil

Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa | Autor | Brasil

Louise Boeger Viana dos Santos | Autor | Brasil

Luiza Teixeira Naili | Autor | Brasil

Mafalda Fabiene Ferreira Pantoja | Autor | Brasil

Marcelo Aquino Corte Real da Silva | Autor | Brasil

Márcio Busón | Autor | Brasil

Pedro Pantoja Luz | Autor | Brasil

Philipe Queiroz Rodrigues | Autor | Brasil

Rudi Sato Simões | Autor | Brasil

Thaís Aurora Vilela Sancho | Autor | Brasil

Stefano Galimi | Autor | Brasil

Valmor Cerqueira Pazos | Autor | Brasil

Victor Villar de Queiroz Milani | Autor | Brasil

Vitor Ramos de Quadros | Autor | Brasil

Wender Camico Costa | Autor | Brasil

ÍNDICE

Tema 1 - Estruturas e Arquitetura

I - Manutenção de helipontos elevados - Plataformas de distribuição de cargas em estruturas de concreto/aço instaladas em edifícios já construídos	07
II - A ponte de ferro de Cachoeiro do Itapemirim.....	28
III - Caracterização dos blocos de apartamento da Colina Velha na Universidade de Brasília: História, arquitetura, pré-moldado, sistemas estruturais e patologias	47
IV - Arquitetura de madeira roliça brasiliense: Um estudo de caso, Maloca e academia Unique	83
V - Aplicação do método de bielas e tirantes em vigas de equilíbrio na ferramenta Cast	97

Tema 2 - Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do Ambiente construído

VI - Edificações de porte monumental de arquitetura modernista: Uma contribuição para a avaliação Acústica	119
VII - Técnicas de auditoria do consumo de água: Relatos de experiência em campo	142
VIII - Elaboração de algoritmo de uso e ocupação do solo para terrenos do Distrito Federal - Brasill	157
IX - Aproveitamento de águas pluviais em edificações públicas: O caso da procuradoria geral da república	180
X - Análise de uma cobertura paramétrica de bambu composta por paraboloides hiperbólicos	194
XI - Análise da ventilação natural e de qualidade do ar interno: Hospitais Sarah Brasília e Sarah Lago Norte	206

Tema 3 - Tecnologia de Produção do Ambiente Construído

XII - Trincas em sistemas de vedação decorrentes da resistência do concreto	229
XIII - Avaliação probabilística do nível de segurança e durabilidade de estruturas existentes em concreto armado	241
XIV - A conservação do patrimônio moderno através das práticas de retrofit na infraestrutura urbana de Brasília.....	261
XV - A influência da fabricação digital junto ao design aberto nas novas gerações de produtos	283
XVI - Degradação e processo de recuperação de obra de infraestrutura: Viaduto Galeria dos Estados.....	302

PREFÁCIO

A área de Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade compreende estudos relativos às técnicas e aos processos ligados à produção da arquitetura, engenharia e do ambiente construído, com especial atenção à questão da sustentabilidade.

A Tecnologia é constantemente desenvolvida para auxiliar os estudiosos e profissionais de forma rápida e eficiente. Em especial na arquitetura e engenharia, a automatização de processos pode dar espaço a soluções racionais e inovadoras.

O Ambiente Construído, que por definição é o ambiente feito pelo homem e concebido para a melhoria da atividade humana, demanda processos e técnicas que repercutam na sua conservação, na busca de novos materiais, na infraestrutura e no desenvolvimento sustentável.

No contexto da construção civil, o conceito de Sustentabilidade deve ser entendido como a busca de ações que reduzam os impactos ambientais, potencializando a viabilidade econômica e, também, a qualidade de vida presente e futura.

Dessa forma, projetos e técnicas de produção e desempenho, na arquitetura e engenharia, são objetos de pesquisas com foco no estudo dos sistemas estruturais. O contexto urbano comparece com estudos relativos à qualidade do espaço, sua gestão e reabilitação em seus aspectos físicos e socioambientais.

A coletânea de artigos que segue, será abordada nos seguintes temas:

1. Estruturas e Arquitetura;
2. Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do Ambiente Construído;
3. Tecnologia de Produção do Ambiente Construído.

TEMA 1: ESTRUTURAS E ARQUITETURA

Sistemas estruturais, equilíbrio e desempenho estrutural na arquitetura e engenharia. Estudo da forma e função estrutural. Modelagem física e computacional de estruturas. Arquitetura em aço. Arquitetura em concreto armado e protendido.

Artigos:

- I. *Manutenção De Helipontos Elevados - Plataformas De Distribuição De Cargas Em Estrutura De Concreto/Aço Instaladas Em Edifícios Já Construídos*
Dutra, A.; Pantoja, J.;
- II. *A Ponte De Ferro De Cachoeiro Do Itapemirim*
Azambuja, E.; Brito, H.; Pantoja, J.
- III. *Caracterização Dos Blocos De Apartamento Da Colina Velha Na Universidade De Brasília: História, Arquitetura, Pré-Moldado, Sistemas Estruturais E Patologias*
Silva, M.; Buzar, M.; Pantoja, J.; Inojosa, L.
- IV. *Arquitetura De Madeira Roliça Brasiliense: Um Estudo De Caso, Maloca E Academia Unique*
Luz, P.; Pantoja, J.; Pantoja, M.
- V. *Aplicação Do Método De Bielas E Tirantes Em Vigas De Equilíbrio Na Ferramenta Cast*
Rodrigues, P.; Pantoja, J.

I

MANUTENÇÃO DE HELIPONTOS ELEVADOS - PLATAFORMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS EM ESTRUTURA DE CONCRETO/AÇO INSTALADAS EM EDIFÍCIOS JÁ CONSTRUÍDOS**MAINTENANCE OF ELEVATED HELIPOINTS - LOAD DISTRIBUTION PLATFORMS IN CONCRETE / STEEL STRUCTURES INSTALLED IN EXISTING BUILDINGS****Alexandre M C Dutra**

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Brasília – DF, Brasil
amcdutra@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4689602519096476>

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Brasília – DF, Brasil
joaocpantoja@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>

Resumo: O heliponto elevado, compreendido como um elemento construtivo estrutural, é o ponto de partida para este trabalho, que apresenta a plataforma de distribuição de cargas (PDC), uma laje preparada para a absorção de impactos acima dos previstos no projeto estrutural para os andares funcionais de uma edificação, que intente possuir um heliponto elevado operacional em seu condomínio. No Brasil, a PDC é uma solução para o desenvolvimento de helipontos em edifícios já construídos e com projeto de laje impermeabilizada, superfície de terraço e/ou cobertura existente em sua estrutura, que não comporte as dimensões requeridas para um heliponto elevado padrão, segundo preconiza a legislação aeronáutica brasileira. Entretanto, esse novo elemento construtivo, ao ser inserido no condomínio, encontra dois pontos relevantes, a idade da construção e o histórico de manutenção da edificação, pois podem comprometer a segurança predial por não respeitarem o estado limite da estrutura, expondo-a ao estado limite último quando esta atinge a condição de prioridade de manutenção, tornando o projeto um desafio para arquitetos, engenheiros e construtores. Um estudo de caso foi desenvolvido ao ser avaliado o estado de conservação levantado, mediante inspeção executada em uma PDC construída em estrutura mista (concreto/aço), apresentando um *checklist* com a finalidade de direcionar a avaliação das patologias encontradas e aplicar um grau de risco associado à deterioração da plataforma e seus componentes. O artigo visa apreciar o estado limite de serviço como fator contribuinte para a manutenção da PDC e para a segurança predial, gerando a base para a criação de um manual de uso, operação e manutenção mais efetivo, que inclui a divulgação dos princípios da Segurança de Voo, colaborando para o aumento da percepção da importância das inspeções prediais continuadas como fator preditivo da manutenção.

Palavras-chave: Heliponto Elevado; Inspeção; Manutenção; Segurança; Patologias

Abstract: The elevated heliport, understood as a structural constructive element, is the starting point for this work, which presents the load distribution platform (PDC), a slab prepared for the absorption of impacts above those foreseen in the structural design for the functional floors of a building that intends to have an elevated helipad operational in its condominium. In Brazil, PDC is a solution for the development of helipads in buildings already constructed and with waterproofed slab design, terrace surface and / or existing cover in its structure, which does not include the dimensions required for a standard elevated helipad, as recommended by the Brazilian aeronautical legislation. However, this new constructive element, when inserted in the condominium, finds two relevant points, the age of the construction and the history of maintenance of the building, since they can compromise the building security for not respecting the structure state limit, exposing it to the ultimate state limit when it reaches the condition of maintenance priority, making the project a challenge for architects, engineers and constructors. A case study was developed when evaluating the state of conservation raised, through inspection performed in a PDC built in mixed structure (concrete / steel), presenting a checklist with the purpose of directing the evaluation of the pathologies found and applying a degree of risk associated with the slab deterioration and its components. The article aims to assess the service limit state as a contributing factor for the maintenance of the PDC and for building security, creating the basis for the development of a more effective use, operation and maintenance manual, which includes the dissemination of the flight safety principles, collaborating to increase the perception of the importance of continuous building inspections as a predictive factor of maintenance.

Keywords: Elevated Heliport; Inspection; Maintenance; Safety; Pathologies

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a Plataforma de Distribuição de Cargas (PDC) é uma solução construtiva para o desenvolvimento de edifícios construídos com projeto de laje impermeabilizada, superfície de terraço e/ou cobertura, que não comporte as dimensões requeridas para um heliponto elevado padrão, segundo preconiza a legislação aeronáutica brasileira. Sob o ponto de vista da inserção desse novo elemento construtivo estrutural no edifício, destacam-se dois pontos a serem considerados, que são a idade da construção e o histórico de manutenção da edificação, pois podem comprometer a segurança predial por não respeitarem o estado limite da estrutura¹, quando esta atinge a condição de prioridade de manutenção, expondo-a ao estado limite último² no caso de descumprimento das orientações e da cronologia da manutenção planejadas e previstas no

¹ Estado Limite da Estrutura (ELE) significa o estado a partir do qual a estrutura apresenta desempenho inadequado à finalidade da sua construção. BRASIL RBAC 155 EMD 00 (2018).

² Estado Limite Último (ELU) significa o estado que, pela sua simples ocorrência, determina a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção. BRASIL RBAC 155 EMD 00 (2018).

manual de uso, operação e manutenção das edificações³, o que torna a concepção e a execução de um projeto de PDC um desafio para arquitetos, engenheiros e construtores.

Adicionalmente, a estrutura de uma PDC deve assimilar os impactos das cargas naturais da operação de pouso e decolagem de helicópteros, cuja constante ação dinâmica necessita ser prevista no projeto estrutural, estabelecendo uma correta vida útil de projeto (VUP) focada no desempenho, na durabilidade e na segurança da plataforma, supondo o estrito cumprimento da periodicidade de uma eficiente manutenção predial, obedecendo ao que preconiza o manual de uso, operação e manutenção do condomínio, visando não alcançar o estado limite de serviço (ELS)⁴.

1.1. Tipos de helipontos elevados no Brasil

No Brasil, a tipologia prevista para os helipontos⁵ elevados são as seguintes:

- Heliponto Elevado é o heliponto construído acima do nível do solo, que permite o trânsito de pessoas abaixo de sua estrutura ou no entorno imediatamente subjacente à projeção de sua estrutura sobre o solo. BRASIL RBAC 155 EMD 00 (2018);
- *Helideck* é uma estrutura, fixa ou flutuante (móvel), construída para pousos e decolagens de helicópteros sobre a água, instalada a bordo de plataforma marítima ou de navio mercante. É também chamado de heliponto off-shore. Conceito adaptado de BRASIL RBAC 155 EMD 00 (2018) e de BRASIL NORMAM-27/DPC MOD 1 (2012);
- Área de Pouso e Decolagem de Emergência para Helicópteros (APDEH) - Área construída sobre edificações, que poderá ser utilizada para pousos e decolagens de helicópteros, exclusivamente em casos de emergência ou de calamidade, com a finalidade de evacuar os ocupantes de edifícios em casos de incêndio ou outra calamidade comprovada. A APDEH só poderá ser

³ Documento que reúne apropriadamente todas as informações necessárias para orientar as atividades de operação, uso e manutenção da edificação. Também conhecido como manual do proprietário, quando aplicado às unidades autônomas, e manual das áreas comuns ou manual do síndico, quando aplicado às áreas de uso comum, sendo estes últimos fontes importantes de referência e consulta para o usuário, o proprietário e o administrador do condomínio. ABNT NBR 14037 (2014).

⁴ Estado Limite de Serviço (ELS) significa o estado que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causa efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura. BRASIL RBAC 155 EMD 00 (2018).

⁵ Nota do Autor - Heliponto é uma expressão característica usada apenas no Brasil, fazendo parte da chamada 'diferença legal' reconhecida pela ICAO (*International Civil Aviation Organization*) e é conhecido nos EUA como *helistop*.

construída sobre edifícios com mais de cinco pavimentos após a autorização do Comando Aéreo Regional da localidade onde se situa e concluída a análise dos obstáculos naturais ou artificiais, fixos ou móveis existentes nas cercanias. Prescrições legais como, por exemplo, a que regulamenta a distância mínima entre dois helipontos não se aplicam à APDEH, devido ao seu caráter de excepcionalidade operacional. BRASIL Portaria DEPV n° 18/GM5 (1974);

- Área de Pouso Ocasional (APO) - Área de dimensões definidas, que poderá ser usada, em caráter temporário, para pousos e decolagens de helicópteros mediante autorização prévia, específica e por prazo limitado, do Comando Aéreo Regional respectivo. Deverá obedecer às normas de segurança exigidas para os helipontos em geral. BRASIL Portaria DEPV n° 18/GM5 (1974);
- O RBHA 91 - Regras Gerais de Operação para Aeronaves Civis, de 20/03/03, atualizado até a Resolução n° 524, de 02/08/19, em sua Subparte D, seção 91.325, conceitua e regula a operação de helicópteros em Áreas de Pouso Eventual (APE) como sendo uma área selecionada e demarcada para pouso e decolagens de helicópteros, possuindo características físicas compatíveis com as estabelecidas pela ANAC⁶ para helipontos normais, que pode ser usada, esporadicamente e em condições VMC⁷, por helicóptero em operações policiais, de salvamento, de socorro médico, de inspeções de linhas de transmissão elétrica ou de dutos transportando líquidos ou gases etc;
- Plataforma de Distribuição de Cargas - Nos casos em que as dimensões requeridas para um heliponto elevado padrão não sejam possíveis, segundo orienta a legislação aeronáutica brasileira, a PDC torna-se uma solução para o desenvolvimento de helipontos em edifícios já construídos, podendo abranger a totalidade da laje impermeabilizada, superfície de terraço/cobertura existente em sua estrutura ou apenas parte dela. BRASIL Portaria DEPV n° 18/GM5 (1974).

⁶ ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) agência reguladora federal cuja responsabilidade é normatizar e supervisionar a atividade de aviação civil no Brasil, tanto no que toca seus aspectos econômicos quanto no que diz respeito à segurança técnica do setor.

⁷ Condições VMC (visual meteorological conditions ou condições meteorológicas de voo visual) Condições meteorológicas iguais ou superiores aos mínimos estabelecidos para voar segundo as regras do voo visual.

1.2. Características Físicas da PDC⁸

A instalação de um heliponto elevado pressupõe a impossibilidade da construção de um heliponto ao nível do solo no terreno do edifício ou empreendimento. Em helipontos elevados, máxima atenção deve ser dada no exame das alturas das edificações vizinhas. A sua utilização exigirá a existência de locais que permitam um pouso de emergência ao longo de sua trajetória de aproximação ou de saída.



Figura 1 – Projeto de PDC visto em corte com suas características tipológicas (Fonte: internet)

Todo heliponto deve possuir, no mínimo, uma área de aproximação final e decolagem (*Final Approach and Take-Off area - FATO*), que contenha uma área de toque e elevação inicial (*Touchdown and Lift-Off area - TLOF*). As superfícies da FATO e da TLOF, qualquer que sejam o formato e o tipo do heliponto elevado, devem ser livres de obstáculos e estabilizadas ou pavimentadas para resistirem aos efeitos das rajadas de ar produzidas pelos rotores do helicóptero nos pisos das respectivas áreas, não deslocando partículas sólidas, que podem ser prejudiciais à aeronave, às pessoas e objetos próximos, e até a edificações vizinhas. Ainda, não devem conter irregularidades ou frestas prejudiciais ao chamado efeito solo⁹. As superfícies da FATO e da TLOF devem ser pavimentadas, sendo necessária a previsão no projeto do heliponto da aplicação de declividade média do piso, que não exceda 2% em qualquer direção, de modo que seja suficiente para prevenir e evitar o acúmulo de água em suas superfícies por meio de um eficaz sistema de drenagem das águas pluviais e de possíveis vazamentos de combustíveis e resíduos oleosos.

⁸ Referencial técnico-legal: BRASIL Portaria DEPV nº18/GM5 (1974) e BRASIL RBAC 155 EMD 00 (2018).

⁹ Efeito solo significa o aumento de sustentação do helicóptero produzido pela reação do deslocamento de ar do rotor quando a aeronave paira ou se desloca em baixa velocidade próxima ao solo ou outras superfícies.

A TLOF poderá abranger a totalidade da superfície do terraço/cobertura em edifício já construído, ou em apenas parte dele, por meio da instalação de uma PDC, desde que a resistência da área consiga suportar o peso máximo de decolagem (MTOW) do maior helicóptero previsto para nela operar, recebendo as cargas de impacto provenientes da operação, além de acomodar as dimensões da aeronave plotada, que não deverão ser inferiores a 12 metros. Para tal, serão necessários o estudo e a avaliação do projeto estrutural da edificação, visando validar a sua implantação. Quando for utilizada PDC como TLOF, sua configuração deverá ser proporcional às dimensões do trem de pouso ou dos skids do helicóptero previsto em projeto, obedecendo à perspectiva apresentada na Figura 2.

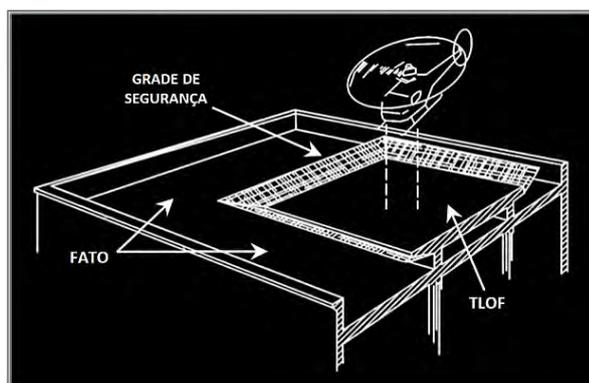


Figura 2 – Tipologia arquitetônica e características estruturais das áreas de uma PDC - perspectiva. (Desenho adaptado por R.Rony) Fonte: Portaria DEPV nº18/GM5

Nos helipontos elevados do tipo PDC, a consideração de carga adicional na FATO poderá ser descartada evitando-se o acesso de pessoas. A grade de segurança lateral é prevista em lei, sendo sua representação em projeto e execução obrigatórias, não podendo se projetar acima da elevação do piso da FATO. Ainda, referente à PDC, a exigência da instalação da grade de segurança será requerida apenas no(s) trecho(s) onde for aplicável. O projeto de uma PDC deverá observar a altura da TLOF em relação ao terraço (FATO) para que não seja inferior àquela dos peitoris dos guarda-corpos do mesmo (Figuras 1 e 2).

A estrutura da PDC, o piso da plataforma, os equipamentos instalados e o material utilizado para impermeabilizar e pintar a TLOF e a FATO não deverão conter compostos de fácil combustão. Helipontos elevados, independente do tipo, não estão autorizados a armazenar combustível. Caso o tamanho do terraço ou do topo do edifício o permita, as dimensões da TLOF e da FATO deverão ser as previstas pelo arcabouço legal aeronáutico para um heliponto elevado padrão.

Caso contrário, deverão ser as maiores possíveis, de acordo com o tamanho do terraço ou do topo do edifício, não sendo a TLOF inferior a 1D, sendo 'D' a maior dimensão do maior helicóptero cuja operação é prevista no heliponto, quando os rotores estão girando, medida a partir da posição mais à frente do plano do rotor principal para a posição mais recuada do plano do rotor de cauda ou da estrutura do helicóptero.

O RBAC 155 EMD 00 (2018) estabelece os requisitos e parâmetros mínimos de segurança operacional para as etapas de projeto, construção, modificação e operação de helipontos. Informações técnicas precisas, tais como: dimensões do helicóptero operacional previsto no projeto, incluindo o diâmetro do rotor principal e a classe de performance da aeronave; distância entre faces externas do trem de pouso principal do helicóptero; tipo de operação e período de operação do heliponto; tipo, formato e dimensões das áreas do heliponto, são imprescindíveis para o sucesso de um projeto de heliponto elevado.

1.3. Projeto Estrutural

O projeto de helipontos elevados deve respeitar o cálculo estrutural da última laje, considerando as cargas permanentes, acidentais comuns e as de impacto do helicóptero de projeto, além da carga adicional resultante da presença de pessoas, mercadorias, equipamentos para abastecimento de combustível, equipamentos de combate à incêndio (CI) componentes do sistema de combate a incêndio (SCI), bem como outras cargas adicionais possíveis. Os requisitos de resistência para as áreas do lado ar¹⁰ são dimensionados de acordo com as características operacionais, MTOW e dimensão do maior helicóptero previsto em projeto para nelas operarem e, também, com o esforço transmitido pelo seu trem de pouso.

A TLOF e a FATO devem possuir capacidade de suporte para cargas dinâmicas de impacto originárias do pouso normal ou de emergência do maior helicóptero previsto no projeto. Um pouso normal imporá pouca ou nenhuma carga de impacto à plataforma do heliponto, enquanto uma operação mais exigente demandará um maior dimensionamento destas áreas, da resistência do pavimento ou, ainda, requisitos mais rigorosos para os procedimentos

¹⁰ Área operacional, também denominada lado ar ou *air side*, significa o conjunto formado pela área de movimento de um heliponto e terrenos e edificações adjacentes, ou parte delas, cujo acesso é controlado.

operacionais de aproximação e/ou decolagem. Normalmente, as operações de pequenos helicópteros não requerem modificações na estrutura de terraços de edifícios já construídos, salvo quanto ao reforço da TLOF focado na sua resistência à carga concentrada transmitida pelo trem de pouso do helicóptero. Exceto para a APDEH, a resistência mínima admitida para um helicóptero é de 1 tonelada de MTOW. É proibida a operação simultânea de dois helicópteros na FATO.



Figuras 3, 4 e 5 – Diferentes configurações de PDC (Fonte: internet)

2. PROBLEMATIZAÇÃO

O artigo apresenta uma análise dos principais problemas de manutenção levantados via inspeção de patologias em uma PDC, que é uma laje devidamente preparada para a absorção de impactos acima dos previstos no projeto estrutural para os andares funcionais de uma edificação, que intente possuir um heliponto elevado operacional em seu condomínio.

A inserção desse novo elemento construtivo estrutural no condomínio encontra dois pontos relevantes, que tornam o projeto um desafio para arquitetos, engenheiros e construtores. São eles a idade da construção e o histórico de manutenção da edificação, pois podem comprometer a segurança predial por não respeitarem o ELE, expondo a estrutura ao ELU quando esta atinge a condição de prioridade de manutenção. Descuidos com a manutenção podem ser extremamente danosos por afetarem a VU¹¹ da edificação, a qualidade de vida dos usuários e a manutenibilidade¹² da PDC.

¹¹ Vida Útil - Intervalo de tempo ao longo do qual a edificação e suas partes constituintes atendem aos requisitos funcionais para os quais foram projetadas, obedecidos os planos de operação, uso e manutenção previstos. ABNT NBR 5674 (2012) e ABNT NBR 15575-1 (2013).

¹² Grau de facilidade de um sistema, elemento ou componente de ser mantido ou recolocado no estado no qual possa executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sobre condições determinadas, procedimentos e meios prescritos. ABNT NBR 15575-1 (2013).

3. METODOLOGIA

Um estudo de caso foi desenvolvido ao ser avaliado o estado de conservação levantado mediante inspeção executada em uma PDC construída em estrutura mista (concreto/aço), apresentando um *checklist* com a finalidade de direcionar a avaliação das patologias encontradas e aplicar um grau de risco associado à deterioração da plataforma e seus componentes. O artigo visa apreciar o estado limite de serviço como fator contribuinte para a manutenção da PDC e para a segurança predial, gerando a base para a criação de um manual de uso, operação e manutenção mais efetivo, que inclui a divulgação dos princípios da Segurança de Voo, colaborando para o aumento da percepção da importância das inspeções prediais continuadas como fator preditivo da manutenção.

O estudo de caso foi desenvolvido ao serem avaliados o estado de conservação e a condição operacional dos componentes inspecionados em uma PDC construída em concreto armado, previamente selecionada. Um roteiro em forma de *checklist* foi criado com base nos itens e equipamentos mais relevantes, homologados para o uso aeronáutico, e que viabilizam uma operação aérea segura em um heliponto elevado com a finalidade de direcionar a avaliação das patologias encontradas, adotando um respectivo grau de risco associado à deterioração da plataforma e seus componentes. Este grau de risco devidamente classificado segue as orientações normatizadas pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (IBAPE/SP, 2011), gerando as prioridades de manutenção, que serão executadas pela administração do condomínio de acordo com o manual de operação, uso e manutenção, com a previsão orçamentária e com a disponibilidade financeira. A metodologia adota uma resumida descrição da condição operacional e do estado de conservação de cada um dos componentes inspecionados, além do levantamento estrutural básico da PDC selecionada para o estudo de caso.

O artigo visa apreciar o ELS como fator contribuinte a ser considerado pela manutenção para a segurança predial, garantindo a manutenibilidade e a VU da PDC e da edificação ao gerar o alicerce para a criação de um manual de manutenção mais efetivo, ampliando a visão sistêmica da qualidade condominial, cuja viga mestre é a segurança. O objetivo é colaborar para a ampliação da percepção da importância das inspeções prediais continuadas

como fator preditivo da manutenção e destacar as inspeções especializadas como a que foi realizada na PDC do estudo de caso.

A PDC foi selecionada levando em consideração a facilidade de acesso a ela, fruto de um diálogo prévio com o gestor condominial responsável, que contribuiu para o desenvolvimento da compreensão da importância da inspeção da PDC ser incluída no planejamento da manutenção predial. As inspeções técnicas foram efetivadas em duas etapas com visitas efetuadas num intervalo de uma semana entre elas e objetivou avaliar as patologias existentes nos principais equipamentos e componentes da PDC selecionada, verificando o estado real (conservação e preservação; situação encontrada) versus estado ideal (previsto para um melhor desempenho e aproveitamento da VU dos componentes instalados, situação desejada) por meio de inspeção visual com foco na avaliação técnica e legal reforçada por um relatório amparado pelos registros fotográficos do local. Com vistas à praticidade da apresentação do estudo de caso, apenas as fotografias mais relevantes dos componentes inspecionados da PDC visitada foram adicionadas a este trabalho.

3.1. Contribuição da Segurança de Voo para a inspeção predial e para o estudo de caso proposto

A Lei nº 7.565, de 19/12/86, em seu artigo 87 dispõe, que “A Prevenção de Acidentes Aeronáuticos é da responsabilidade de todas as pessoas, naturais ou jurídicas, envolvidas com a fabricação, manutenção, operação e circulação de aeronaves, bem como com as atividades de apoio da infraestrutura aeronáutica¹³ no território brasileiro”. Sendo a Segurança de Voo no Brasil conduzida no âmbito do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER), Dutra e Pantoja (2016) apresentaram os sete princípios do SIPAER, empregando-os numa ação conjunta à metodologia da inspeção predial, mais especificamente, incentivando a absorção e a aplicação destes pelo pessoal envolvido com as operações aéreas no condomínio.

Estes princípios são apresentados resumidamente na Tabela 1, sendo, segundo a MCA 3-3, de 03/12/12, o cerne da filosofia SIPAER. Os fundamentos

¹³ Por infraestrutura aeronáutica compreende-se ser o conjunto de órgãos, instalações ou estruturas terrestres de apoio à navegação aérea, para promover-lhe a segurança, regularidade e eficiência, destacando entre os vários sistemas que a compõe: o sistema aeroportuário, que é constituído pelo conjunto dos aeródromos brasileiros e o SIPAER. BRASIL, Lei nº 7.565 (1986).

filosóficos de qualquer atividade, incluindo os da prevenção de acidentes aeronáuticos conduzida pelo SIPAER, representam a base e a disciplina da sua conduta. A visão estruturada da prevenção de acidentes aeronáuticos orienta e oferece o suplemento exato para que, atuando conjuntamente com a metodologia do IBAPE/SP, se crie um ambiente favorável para o desenvolvimento de uma consciência de segurança de voo, desde o conselho condominial até os funcionários da manutenção e limpeza do heliponto elevado, o que contribuirá para a criação e a aplicação de um manual de uso, operação e manutenção mais centrado na realidade das operações aéreas e suas peculiaridades.

Tabela 1 – Ações da Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, segundo os Princípios do SIPAER

Ações da Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
1. Identificação e análise de falhas enquadradas nos aspectos contribuintes básicos (Fator Humano e Fator Material)
2. Determinar a combinação dos diferentes Fatores Contribuintes atuantes
3. Levantar as similaridades históricas da essência do acidente, incidente ou ocorrência de solo avaliado
4. Mobilização geral da organização por meio da conscientização da importância e da responsabilidade do engajamento dos envolvidos nas operações aéreas, visando o aumento dos índices de segurança individual e coletiva
5. Praticar a preservação dos equipamentos e dos recursos humanos com maior utilização destes em prol da atividade aérea
6. Desenvolver uma cultura organizacional de prevenção de acidentes desenvolvida, apoiada e incentivada diretamente pela chefia, coordenação, direção
7. Intercâmbio de informações de prevenção de acidentes em fluxo contínuo com o incentivo à participação voluntária dos envolvidos nas operações aéreas, focado na determinação das áreas e atividades que deverão ser objeto de medidas de prevenção.

4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso aborda o estado de conservação de uma PDC inspecionada, que foi iniciado com o levantamento da idade da construção e o histórico de manutenção do heliponto. A PDC, de uso privado, estava operacional à época da vistoria, sendo pouco utilizada pelos proprietários e inquilinos do condomínio. O relatório final gerado subsidiou a administração condominial com informações relevantes relativas à PDC e às operações aéreas; devido ao baixo movimento de aeronaves e ao alto custo de manutenção do

heliponto, contribuiu para a tomada de decisão do conselho condominial, que culminou com a desativação da PDC e o pedido de sua exclusão do Cadastro Nacional de Aeródromos.

4.1. A PDC vistoriada

Edificação com 26 anos de construção à época da inspeção, sua PDC em estrutura mista (concreto/aço) foi vistoriada em 15 de maio de 2014, sendo a manutenção do heliponto considerada não prioritária pela gestão condominial. A plataforma (TLOF) foi construída em estrutura de concreto armado com resistência do pavimento de 2 toneladas e o terraço (FATO) construído em estrutura de aço. Considerada área de acesso exclusivo pelo condomínio, devido a questões óbvias de segurança, a PDC é acessada pelos usuários, exclusivamente, após a autorização do gestor. Os usuários deverão estar obrigatoriamente acompanhados por um dos brigadistas de plantão. Visão geral da PDC vistoriada (Figura 6).



Figura 6 – Vista aérea da PDC vistoriada. Imagem: Google Earth

4.1.1. Elementos e componentes vistoriados - *checklist*

1. As superfícies da TLOF e da FATO não são contínuas, o que caracteriza a adoção da PDC como solução construtiva, pois as dimensões do piso da laje (TLOF) são insuficientes para caracterizar um heliponto elevado padrão.

1.1 A diferença de altura da TLOF para a FATO é de 1,10 metros, valor acima do previsto pela Norma para o guarda-corpo do terraço (Figuras 7 e 8);



Figuras 7, 8 e 9 – Diferença de altura da FATO para a TLOF e estado precário de manutenção da FATO

1.2 A FATO é toda montada em chapas de aço xadrez, espessura 5 mm, as quais estão em estado precário de manutenção, o que demonstra claramente o descuido da gestão nessa área. Formações de oxidação em estado avançado, caminhando para a corrosão, mostram que não é feita sequer uma manutenção corretiva, pois a fina camada de tinta que ainda persiste na área está bastante deteriorada e desbotada pela ação do tempo e abaixo dela não há, sequer, vestígio de um primer de fundo com função antiferrugem. Foi recomendado o tratamento imediato de toda a área (Figuras 7, 8, e 9);

1.3 Declividade inexpressiva da TLOF, insuficiente para prevenir e evitar o acúmulo de água ao longo de toda a superfície da laje. As manchas de infiltração existentes requerem acompanhamento com maior atenção e menor intervalo de tempo;

1.4 Na posição noroeste da PDC encontram-se dois alçapões, que dão acesso ao reservatório de água do edifício, com tampas de ferro não resistentes o suficiente para assimilar os impactos comuns oriundos da operação de pouso e decolagem de helicópteros, tampouco aqueles advindos de situações de emergência durante a qual o peso da aeronave somado à ação dinâmica imposta a ela seria próximo do limite estrutural da TLOF (Figura 10).

2. Sistema de drenagem da laje do heliponto - inexistente na TLOF (estrutura em concreto) e na FATO (estrutura em aço), o que contribuiu diretamente para a formação das manchas de infiltração e das várias fissuras existentes no piso da PDC.

3. Grade de segurança - ainda que obrigatória, não foi prevista no projeto da PDC. Em desacordo com BRASIL RBAC 155 EMD 00 (2018), BRASIL Portaria DEPV n° 18/GM5 (1974) e não conforme com relação à ABNT NBR 14718

(2019).

Obs.: Por motivo de segurança das operações aéreas e das pessoas envolvidas, visando contribuir com possíveis ações futuras de combate a incêndio foi recomendado ao administrador do condomínio o estudo de viabilidade de investimentos nos itens 2 e 3 acima.

4. Sinalização horizontal de perímetro de TLOF, de ponto de visada e de identificação de heliponto, sinalização horizontal de massa máxima admissível (pinturas) - na TLOF, com estrutura em concreto armado, foram verificadas mossa¹⁴ oriundas de operações descuidadas de pouso e decolagem, as quais originaram vários micropontos de infiltração. Recomendada a preparação da superfície da PDC com a devida regularização e impermeabilização do piso para evitar futura degradação do concreto armado e consequente deterioração das ferragens. Foi sugerida, adicionalmente, aplicação de sinalização horizontal de interdição da FATO (Figura 11), caso o condomínio optasse pela não regularização da documentação do heliponto junto à autoridade de aviação civil (ANAC).

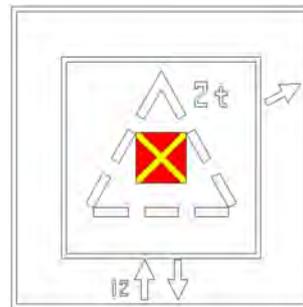


Figura 10 – Alçapões das caixas d’água

Figura 11 – Sinalização horizontal interdição de FATO

4.1 Sinalização horizontal de orientação de alinhamento de trajetória de voo - as setas de indicação, que ficam na FATO, estão praticamente apagadas pela ação do tempo e da ferrugem. O tratamento da superfície em aço e a repintura imediata foram indicados.

5. Sistema de iluminação da FATO (balizamento noturno) - rede elétrica não exclusiva para o heliponto. Identificada a despadronização do conjunto de lentes

¹⁴ Vestígio de pancada ou pressão. NBR 15575-2 (2013). Marca proveniente de choque ou pressão, segundo o Dicionário Online de Português (<https://www.dicio.com.br/mossa/>).

das luzes limítrofes de área de pouso (Figuras 12 e 13). Solicitada a imediata padronização para que não haja ofuscamento visual nos pilotos das aeronaves que operam na PDC nem confusão quanto a um possível significado que essa diferença possa ter.



Figuras 12 e 13 – Uso simultâneo irregular de globo prismático em borossilicato padrão e filtro SN06

5.1 Luminárias embutidas instaladas fora do padrão, não homologada para uso aeronáutico. Sugerida a remoção e a troca pelo equipamento e componentes elétricos padronizados (Figura 14).

6. Biruta (indicador de direção do vento) - padrão, homologada para uso aeronáutico, do tipo não iluminada (operações VFR diurnas). Comprimento da haste útil e seção transversal sem evidências de danos ou deformações permanentes. Cone ou manga de vento da biruta em perfeito estado - recém-substituído, estado de novo. Localização - instalada em local visível e que não afeta a segurança das operações aéreas na PDC, livre dos efeitos das alterações de fluxo de ar causadas por objetos próximos ou pelo refluxo dos rotores dos helicópteros que operam. Possui conexão frangível e resistente aos esforços máximos dos ventos previstos. Em conformidade com a NBR 12647 (2013).

7. Sinalizadores¹⁵ - devido à grande existência de antenas repetidoras de rádio, celular e internet nas edificações das circunvizinhanças da PDC, em um raio máximo de até 75 metros de distância, tem-se um número considerável de sinalizadores e luzes de topo (Figura 15).

¹⁵ Sinalizador é o objeto disposto acima do nível do solo, que indica um obstáculo ou delinea um contorno. BRASIL RBAC 155 EMD 00 (2018).



Figura 14 – Luminária embutida despadronizada



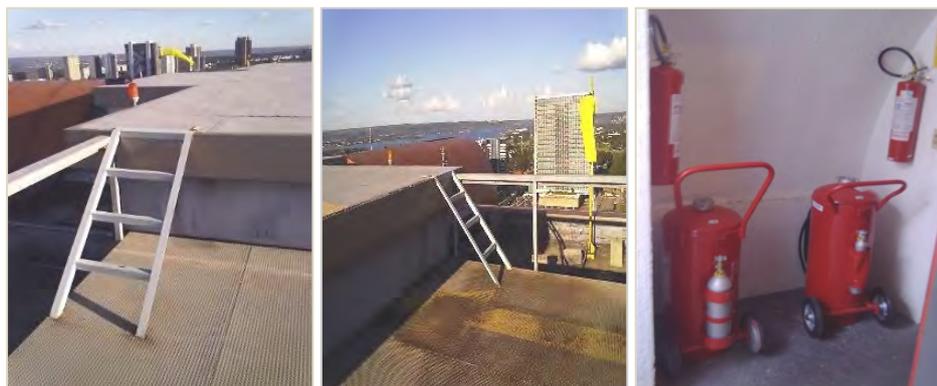
Figura 15 – Antenas e repetidoras de rádio, celular e internet em edifício nas cercanias da PDC

8. Acessibilidade - o último andar tipo da edificação o liga ao andar de serviço, que, por sua vez, é ligado à PDC por uma caixa de escada estreita sem ranhuras antiderrapantes nos degraus ou outro meio de proteção ao transeunte. Não há guarda-corpo, tampouco corrimão para apoio do usuário. O terraço (FATO), em aço, é acessado pela PDC (TLOF) por meio de duas escadas laterais de ferro com degraus finos e escorregadios, sem corrimãos ou guarda-corpo para a segurança dos usuários. Uma escada está localizada na face sudoeste e a outra na face nordeste da PDC. Os degraus não atendem a nenhuma especificação normativa, apresentando grande risco de acidente (Figuras 16 e 17). Esta área do condomínio não possui a mínima facilitação para a acessibilidade de cadeirantes ou pessoas com dificuldade de locomoção, contrariando a NBR 9050 (2015).

9. Guarda-corpo - ancoragem direta na estrutura de aço do terraço, fixada por solda e parafusos, com vãos vazados (ausência de elementos de fechamento) menores ou iguais a 110 mm, que não passam segurança física e visual para o usuário, além de gerar desconforto estético.

10. SCI - configuração do equipamento de CI insuficiente para resguardar a segurança das operações aéreas da PDC no caso de um combate a incêndio real (tipos e quantidades dos extintores existentes), sendo incompatível com a categoria e com as dimensões do heliponto vistoriado (Figura 18). Devido ao fato de não haver abrigo de CI foi sugerida a imediata manutenção dos extintores existentes, pois ficam expostos às intempéries climáticas. Não foi observada a existência de veste protetora para aproximação e o kit de arrombamento está incompleto, ambos de uso obrigatório dos brigadistas. Não há linha d'água

exclusiva para a PDC.



Figuras 16 e 17 – Escadas que interligam a FATO à TLOF nos lados SW e NE da PDC

Figura 18 – Extintores em número inferior ao necessário guardados embaixo da escada de acesso à PDC

4.2. Grau de risco geral da PDC inspecionada

Após o cumprimento do *checklist* com as devidas observações técnicas anotadas, oriundas da inspeção executada item por item, e, levando em consideração a profundidade e a complexidade das avaliações, a PDC foi categorizada de acordo com um grau de risco único, válido para o heliponto como um todo, que o classifica segundo a norma de inspeção predial da IBAPE/SP (2012):

Grau de risco - CRÍTICO: Pode provocar danos contra a saúde e a segurança das pessoas e/ou meio ambiente, perda excessiva de desempenho causando possíveis paralisações, identificadas anomalias endógenas, funcionais e naturais, aumento do custo de manutenção, uso e ocupação irregular da PDC, identificadas falhas gerenciais e de planejamento, qualidade da manutenção não atende, manutenibilidade atingida, comprometimento sensível da VU e desvalorização acentuada.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho contribui para a avaliação de patologias e do estado de conservação de PDCs em edifícios já construídos, que possuam laje impermeabilizada, terraço e/ou cobertura, preparados ou não para a inserção deste elemento construtivo estrutural à realidade do condomínio, sendo uma continuidade da pesquisa iniciada por Dutra e Pantoja em 2016. O artigo não esgotou o estudo e a pesquisa do tema central ‘os Helipontos Elevados’, tampouco do tema específico deste trabalho ‘a PDC’, e intenciona incentivar

futuras pesquisas com helipontos construídos em estruturas de diferentes materiais, sendo um ponto de partida para o desenvolvimento de novos trabalhos, que envolvam inspeções mais complexas e aprofundadas, e até perícias, visando levantar possíveis influências estruturais sistêmicas das patologias encontradas, o que exigirá o uso de instrumental técnico nos casos de helipontos elevados mais antigos.

Foi observada que a metodologia utilizada no estudo de caso, que segue um roteiro em forma de *checklist* criado com base nos itens, componentes e equipamentos mais relevantes, homologados para o uso aeronáutico, e que viabilizam uma operação aérea segura em um heliponto elevado, somada à aplicação de graus de risco específicos ou um geral, como foi aplicado no presente trabalho, favoreceu o andamento da inspeção da PDC por facilitar a identificação dos elementos a serem vistoriados e a prioridade de manutenção a ser dada, mesmo para um profissional que não tenha familiaridade com o setor aeronáutico, seus produtos e a complexidade de combinações técnicas possíveis, podendo ser aplicada em helipontos elevados do tipo padrão, PDC, APDEH, APE, APO e *helideck*. Quanto ao uso de graus de risco, geral e/ou específicos para classificar os itens inspecionados, seguindo o *checklist* criado e de acordo com a metodologia da norma de inspeção predial do IBAPE/SP (2012), confirmou-se a possibilidade do desenvolvimento de futuros trabalhos que utilizem esses dados, transformando-os em variáveis a serem inseridas em ferramentas de tomada de decisão, que auxiliam na avaliação imobiliária e na estimativa de VU das construções, valorando a depreciação física de edifícios comerciais e residenciais, seus sistemas e elementos estruturais, valorizando o imóvel etc.

Ao longo deste trabalho foi observado ainda, que há, da parte de alguns administradores condominiais e síndicos, um incômodo quando o assunto é heliponto elevado, sua operação, conservação e manutenção. Em separado, deve-se à falta de informação circulante específica, acesso restrito a fontes atualizadas de conteúdo técnico e, até mesmo, à ausência de uma formação profissional mais aprofundada. Muitos profissionais atuantes do setor aprendem na prática, vivenciando durante a própria gestão os desafios e a complexidade de uma área do condomínio, que há um tempo passado relativamente pequeno, cerca de vinte anos, passou a ter uma atenção exponencial dos mais diversos

setores do mercado brasileiro.

Entretanto, percebe-se uma disposição destes mesmos gestores para aprender mais a respeito dessa área, o que sugere um estudo futuro para o desenvolvimento de metodologia de ensino focada em ampliar a *expertise* da gestão condominial, assim como o entendimento de arquitetos e engenheiros a respeito do heliponto elevado que, independente da tipologia prevista pelo acervo legal aeronáutico brasileiro vigente a ser empregada em seus projetos, é um arranjo espacial modal com características singulares e importância contextual representativa enquanto elemento construtivo estrutural.

Essa metodologia poderá, ainda, ser a base para a normatização do serviço especializado de inspeção continuada em helipontos elevados, parametrizando ações descritas no manual de uso, operação e manutenção da edificação e, mais especificamente, previstas no manual de operação do heliponto, contribuindo diretamente para a conservação destas estruturas. Assim, a relação de proximidade com este elemento construtivo seria ampliada ao ser assimilado, que o heliponto elevado não é apenas mais um espaço a ser concebido, construído, administrado e preservado, mas que ele é parte integrante da edificação e também o será de sua comunidade condominial.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. **NBR 5674**: Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção, 2012.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, 2015.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. **NBR 12647**: Indicador visual de condições do vento de superfície (biruta) em aeródromos ou helipontos, 2013.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. **NBR 14037**: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações - Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos, 2014.

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. **NBR 14718**: Guarda-corpos para edificação, 2019.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais, 2013.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. **NBR 15575-2**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais, 2013.
- BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil. **RBAC 155 EMD 00 SIA**, de 25/05/18, Helipontos. [Rio de Janeiro-RJ], 2018.
- BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica. **RBHA 91 EMD91-12 DGAC**, de 02/08/19, Regras Gerais de Operação para Aeronaves Civis. [Rio de Janeiro-RJ], 2019.
- BRASIL. **Lei nº 7.565**, de 19 de dezembro de 1986. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica - CBA.
- BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Portos e Costas. Portaria nº 45/DPC, de 23/03/12, Mod 1, **NORMAM-27/DPC**, Normas da Autoridade Marítima para Homologação de Helipontos Instalados em Embarcações e em Plataformas Marítimas [Rio de Janeiro-RJ], 2012.
- BRASIL. Ministério da Aeronáutica. Comando Geral de Apoio. Departamento de Eletrônica e de Proteção ao Voo. **Portaria DEPV nº 18/GM5**, de 14/02/74, que dispõe sobre Instruções para Operação de Helicópteros para Construção e Utilização de Helipontos ou Heliportos. [Rio de Janeiro-RJ], 1974.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. CENIPA. Manual de Prevenção do SIPAER: **MCA 3-3**. [Brasília-DF], 2012.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. Gestão da Segurança de Voo na Aviação Brasileira: **NSCA 3-3**. [Brasília-DF], 2013.
- DUTRA, A.; PANTOJA, J. **Deteção de Patologias em um Heliponto Elevado sob a Ótica da Inspeção Predial: Estudo de Caso**. In:

Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, 12., 2016, Porto. Anais. Porto: FEUP, 2016.

IBAPE/SP. Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo, São Paulo. **Inspeção Predial: *check-up* predial: Guia da boa manutenção.** Editora Leud, 3ª edição, 2012.

IBAPE/SP. Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo, São Paulo. **Norma de Inspeção Predial**, 2011. www.ibape-sp.org.br.

II

A PONTE DE FERRO DE CACHOEIRO DO ITAPEMIRIM**THE IRON BRIDGE OF CACHOEIRO DO ITAPEMIRIM****Eduardo Bicudo de Castro Azambuja**

Universidade de Brasília, Programa de pós-graduação – PPG-FAU

Brasília – DF, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/1003256703435272>

Hillary Damaceno de Brito

IPOG, Instituto de pós-graduação

Cachoeiro do Itapemirim - ES, Brasil

hillarybritto@hotmail.com

ORCID: 0000-0001-7364-1819

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Programa de pós-graduação – PPG-FAU

Brasília – DF, Brasil

joaocpantoja@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>

Resumo: Diante da importância da manutenção das edificações e da preservação de patrimônios históricos, o trabalho teve por objetivo realizar uma inspeção visual na estrutura metálica da ponte localizada na cidade de Cachoeiro de Itapemirim/ES, denominada Ponte de Ferro. A ponte foi construída no ramal da Estrada de Ferro Leopoldina que faz a ligação entre os municípios de Cachoeiro de Itapemirim e Vitória. Fabricada pela empresa inglesa Patent Shaft & Axletree, a obra foi inaugurada em 27 de junho de 1910 e transformou a cidade de Cachoeiro do Itapemirim em um importante centro comercial e econômico do Estado. Quando este trecho da linha ferroviária foi desativado, em 1999, a ponte passou a compor o sistema de transporte urbano de Cachoeiro do Itapemirim, utilizada na circulação de veículos leves e de pedestres. Como metodologia de trabalho, realizou-se, inicialmente, o levantamento da geometria, dos perfis e dos materiais utilizados na treliça longitudinal da ponte e a montagem de um modelo estrutural simplificado que permitiu, por meio de uma análise qualitativa, a identificação dos pontos com solicitações críticas. A seguir foi feito um estudo de manifestações patológicas relacionadas com a utilização da Ponte de Ferro e a aplicação de uma metodologia de avaliação do grau de deterioração, denominada GDE/UnB, modificada para a inspeção visual de estruturas metálicas. Espera-se que esse trabalho colabore para a compreensão da importância de se manter o projeto da Ponte de Ferro, por sua história, como instrumento de preservação da memória coletiva, e como um elemento importante de conexão do sistema de transporte urbano da cidade.

Palavras-chave: Análise qualitativa; estrutura metálica; inspeção de estruturas; pontes.

Abstract: Given the importance of maintaining buildings and preserving historical heritage, the work aimed to carry out a visual inspection of the metal structure of the bridge located in the city of Cachoeiro de Itapemirim / ES, called the Iron Bridge. The bridge was built at the branch of the Estrada de Ferro Leopoldina

that connects the cities of Cachoeiro de Itapemirim and Vitória. Manufactured by the English company Patent Shaft & Axletree, the bridge was inaugurated on June 27, 1910 and transformed the city of Cachoeiro do Itapemirim into an important commercial and economic center of the State. When this section of the railway line was deactivated in 1999, the bridge became part of the Cachoeiro do Itapemirim urban transport system, used in the circulation of light vehicles and pedestrians. As a work methodology, the survey of the geometry, sections and materials used in the longitudinal truss of the bridge was carried out and the assembly of a simplified structural model that allowed, through a qualitative analysis, the identification of the points with critical requests. Next, a study was made of pathological manifestations related to the use of the Iron Bridge and the application of a methodology for assessing the degree of deterioration, called GDE / UnB, modified for the visual inspection of steel structures. It is hoped that this work will contribute to the understanding of the importance of maintaining the Iron Bridge project, for its history, as an instrument for the preservation of collective memory, and as an important connecting element of the city's urban transport system.

Keywords: Qualitative analysis; steel structure; inspection of structures; bridges.

1. INTRODUÇÃO

Cachoeiro de Itapemirim é uma cidade localizada no sul do estado do Espírito Santo, com uma população estimada (2019) de 208.972 habitantes e uma área territorial (2018) de 864,583 km² (IBGE). A princípio, foi criado um distrito com a designação de São Pedro de Cachoeiro de Itapemirim que, pelo Decreto Provisório nº 11 de 16/7/1856, era subordinado ao município de Itapemirim. Foi elevado à categoria de Vila com a intitulação de São Pedro do Cachoeiro de Itapemirim por meio do Decreto Provisório nº 11, de 23/11/1864, sendo desmembrado de Itapemirim. Em 26 de dezembro de 1889, a Vila foi elevada à condição de cidade com a denominação de Cachoeiro de Itapemirim, por meio do Decreto Estadual nº 04 (IBGE, 2019).

1870 e 1880 são consideradas os anos de progresso de Cachoeiro de Itapemirim, visto que nessa época foram estipuladas algumas regras de urbanização e obtido o progresso econômico. A cultura original era a cana-de-açúcar, porém, desfrutando das diversidades de seu clima, Cachoeiro já realizava uma diversificação com o plantio de café, algodão, tabaco, banana, laranja, entre outros. Em pouco tempo o café se tornou a principal cultura da região, na qual a partir da década de 1980 já empregava 11 mil pessoas, com uma produção anual de 9 milhões de quilos, sendo a exportação realizada pelo porto de Itapemirim (MOREIRA, 2014).

1.1. Histórico da Ponte

Em 1872, o deputado Basílio Carvalho Daemon apresentou um projeto para a construção de uma estrada de ferro. No entanto, somente dez anos depois o capitão Henrique Deslandes conseguiu a concessão para construir uma via férrea interligando a região de Cachoeiro de Itapemirim aos seus distritos de Alegre e Castelo, sendo os mais importantes por conta da produção cafeeira.

Por ser um empreendimento oneroso, Henrique concedeu os direitos ao Visconde de São Salvador de Matozinhos, presidente, na época, da Cia. de Navegação Espírito Santo Caravelas. Em 17 de janeiro de 1886, o desembargador Antonio Joaquim Rodrigues, Presidente da Província, bateu a estaca inicial com a presença do presidente da Câmara Gil Gourlard. O material, importado da Antuérpia, chegou a Cachoeiro de Itapemirim pela prancha “Tarcila”. O primeiro trecho, do Porto até a Estação, foi concluído em um mês e a primeira locomotiva foi montada pelo engenheiro Pedro Scherrer. Os trabalhos foram empreitados a J. Praxedes e Antonio Figueiredo, tendo a participação direta dos engenheiros Herman Schindler e Rodolfo Henrique Batista. Em oito meses concluíram 71 quilômetros de linha, interligando Cachoeiro de Itapemirim às estações de Matosinhos e Pombal (MOREIRA, 2014).

Em 16 de setembro de 1887, a Estrada de Ferro Cachoeiro, com a estação localizada na praça Jerônimo Monteiro, foi inaugurada, recebendo, também, a denominação vulgar de Estrada de Ferro Caravelas, uma vez que pertencia, na época, à The Espírito Santo and Caravellas Railway C. L. (MACIEL, 2003).

Segundo Moreira (2014), o sistema ferroviário foi de grande importância para o progresso de Cachoeiro e também de outras vilas da região.

A Caravelas iniciou com 3 locomotivas Baldwin de 27 toneladas, 1 carro de primeira classe e 2 carros de segunda classe para passageiros; 2 carros mistos, 2 de correio e bagagens, 18 vagões fechados, 6 vagões abertos, 1 para transporte de animais, 1 vagão para explosivos, 2 para padeiras e 6 de lastro. (MOREIRA, 2014:59-60).

Após determinado tempo, o controle da ferrovia foi transferido ao Lóide Brasileiro e, em 1907, para a Leopoldina. Esta, por sua vez, já providenciava a ligação ferroviária da cidade de Cachoeiro de Itapemirim com o estado do Rio de Janeiro, inaugurando a Estação em 25 de julho de 1903. Os trilhos chegaram ao perímetro urbano de Alegre em 1912 e à Espera Feliz em 1913 (MOREIRA, 2014).

Em 4 de junho de 1893, autorizado pelo Presidente Moniz Freire, iniciaram-se o estudo e orçamento de uma via férrea entre Cachoeiro de Itapemirim e Matilde, com entroncamento no ramal de Vitória – Rio Pardo. Para o trabalho foram nomeados os engenheiros Silvino Faria, Urbano de Vasconcelos e Francisco de Oliveira, além do agrimensor Praxedes José de Oliveira. Em outubro do mesmo ano começou a chegar o material para o início da Estrada de Ferro Sul do Espírito Santo, vindo de navio.

Em 1895, para empreitar o ramal de Cachoeiro de Itapemirim a Rio Novo e de Viana a Matilde, o estado contratou os engenheiros Henrique Reeve e João Feliciano, e o visconde César Ferreira Pinto (MOREIRA, 2014).

Com o intuito de realizar a ligação entre as cidades de Cachoeiro de Itapemirim e de Vitória, foi construída uma ponte sobre o rio Itapemirim no ramal da E.F. Leopoldina de Cachoeiro de Itapemirim a Matilde. A obra teve início em 1908, tendo a contribuição de Álvaro Ramos com sua arte de marcenaria para definir o molde (MOREIRA, 2004).

A ponte foi fabricada pela empresa inglesa Patent Shaft & Axletree, localizada em Wednesbury, transportada em navios a vapor (FERROVIA, s.d.) e construída sob a responsabilidade técnica do engenheiro José Bento Vidal (MOREIRA, 2004). A companhia foi estabelecida em 1838 e teve seu encerramento em 1980 (PARKER, s.d.), o seu registro encontra-se gravado nos perfis metálicos da ponte. A obra construída na cidade de Cachoeiro de Itapemirim passou a ser denominada como Ponte de Ferro (Figura 1).

Figura 1: Registro da empresa Patent Shaft & Axletree no perfil da Ponte de Ferro.



Fonte: Autor (2019).

No dia 16 de novembro de 1908 (MOREIRA, 2014) ocorreu a greve dos trabalhadores da E. F. Sul do Espírito Santo, considerada o primeiro grande movimento operário do Estado. O empreiteiro das obras, Sr. José Bento Vidal,

encontrava-se com atraso de três meses nos pagamentos. O engenheiro ordenou o pagamento do mês de setembro, acalmando minimamente a situação, mas não resolvendo os problemas dos trabalhadores que, ainda irritados, ocasionaram várias confusões. Forças legais do Rio foram chamadas e lá chegaram 86 homens do 20º Batalhão de Infantaria. Durante 10 dias, desde o início da greve, houve vários conflitos de pequena e grande intensidade, promovidos pelos mais revoltados dos 800 grevistas. O movimento apenas terminou ao ser realizado os pagamentos, graças a diversos interventores (MOREIRA, 2004).

Durante dois anos de trabalho fez-se a Ponte de Ferro sobre o rio Itapemirim e outras menores, dois grandes viadutos, cinco túneis e vários pontilhões (MOREIRA, 2014). No dia 27 de junho de 1910 inaugurou-se, então, a Ponte de Ferro, com a presença do Presidente da República Nilo Peçanha, do Ministro da Viação Francisco de Sá, dos generais Bento Ribeiro e Dantas Barreto, do deputado Pereira Nunes e dos senadores Bernadinho de Souza Monteiro, Moniz Freire e João Luiz Alves. Contou também com a presença da população e de demais figuras importantes, tornando-se uma grande festa cívica. No dia 18 de julho partiu o primeiro trem, iniciando, oficialmente, o tráfego da Leopoldina, de Cachoeiro de Itapemirim a Vitória (MOREIRA, 2004).

A inauguração da Ponte de Ferro transformou a cidade de Cachoeiro de Itapemirim em um importante centro comercial e econômico do Espírito Santo, sendo interligado diretamente com as capitais do estado, Vitória, e do país, a cidade do Rio de Janeiro. A linha ferroviária passou a conectar a região de influência de Cachoeiro de Itapemirim com o sul do Brasil (MOREIRA, 2014).

Figura 2: Ponte de Ferro no dia em que trafegou o trem inaugural.



Fonte: Arquivo Público Municipal de Cultura de Cachoeiro de Itapemirim – ES (1910).

Acidentes nos trechos em que a linha ferroviária cortava a área urbana de Cachoeiro, contudo, também se tornaram comuns. Um dos casos mais conhecidos é o do cantor Roberto Carlos, que foi vítima do acidente quando ainda criança, precisando ter sua perna amputada (MOREIRA, 2004). A linha ferroviária utilizou a Ponte de Ferro até o final da década de 1990, após o seu desuso, a ponte passou a servir para a passagem de veículos leves e pedestres (FERROVIA, s.d.).

Segundo Maciel (2003:208) a ponte “é uma senhora edificação! E, há mais de trinta e cinco anos, não recebe o menor cuidado de conservação, e a ferrugem está ‘comendo solta’. Está passando da hora do tombamento”. Em 21 de outubro de 2003, através da Lei Municipal nº 5484, ficaram reconhecidas como Patrimônio Histórico e Cultural de Cachoeiro de Itapemirim a Antiga Estação Ferroviária e a Ponte de Ferro, pois:

(...) compõem um conjunto arquitetônico que marca a influência inglesa nos métodos construtivos em infraestrutura ferroviária e que marcou a história do desenvolvimento de transporte de cargas e de passageiros no Município e na Região Sul do Estado do Espírito Santo. (p. 2).

Na época da construção da Ponte de Ferro, os rebites eram muito utilizados como elemento de conexão, servindo para fixar permanentemente duas ou mais peças. Por muitos anos eles foram os únicos dispositivos de ligação utilizados em elementos estruturais de aço. No entanto, com o passar do tempo, se tornaram antieconômicos e não são mais utilizados neste tipo de estrutura.

O processo de rebitagem, união de peças metálicas utilizando rebites, pode ser manual ou mecânico. O processo manual, possivelmente, utilizado na Ponte de Ferro, devida à data de sua construção, é realizado por meio de pancadas de martelo. Segundo Bitencourt (s.d.), após as chapas serem prensadas, o rebite é martelado até dilatar e preencher totalmente o furo. O processo mecânico, por sua vez, é efetuado por intermédio de martelo pneumático ou com o uso de ferramentas pneumáticas e hidráulicas, chamadas de “rebitadeiras”.

A rebitagem pode ser realizada a frio ou a quente. Neste, segundo Owens & Cheal (1989), os rebites são inseridos pré-aquecidos no furo da conexão, com uma folga de 2 mm no diâmetro. Esta formação a quente da cabeça causa a expansão da haste do rebite, preenchendo a folga existente no furo. Quando o rebite esfria ele se contrai, gerando uma força de aperto entre as camadas e,

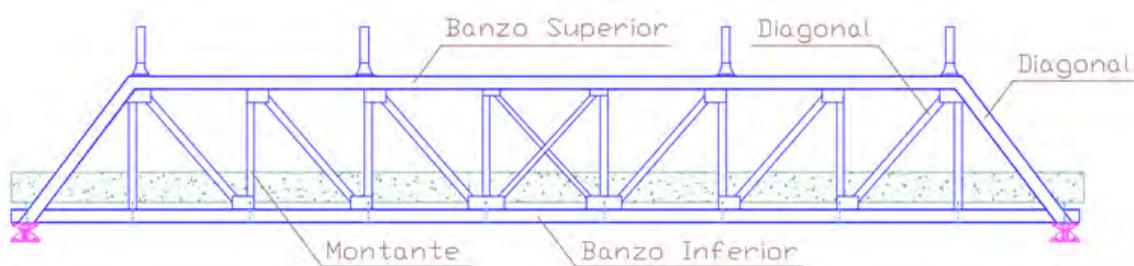
consequentemente, aumentando a rigidez da conexão. A rebiteagem a frio, por outro lado, é efetuada por martelamento simples, sem utilizar qualquer fonte de calor.

1.2. O Modelo Estrutural da Ponte de Ferro

A treliça plana é um modelo estrutural constituído por barras que se unem em nós, localizados nos centros geométricos das peças, para compor triângulos. Isso garante que, quando as cargas atuarem nos nós, serão desenvolvidos, predominantemente, esforços axiais de tração e compressão simples. As barras que compõem a treliça recebem as denominações especiais de banzos, superiores e inferiores, diagonais e montantes.

Para O'Connor (1975, apud CASTILHOS, 2014), uma treliça plana pode ser considerada como uma viga alta, com mesas substituídas pelos banzos da treliça e a chapa da alma substituída por um sistema aberto de elementos compostos pelas diagonais e montantes. As treliças planas com configurações geométricas mais comuns são designadas pelos nomes dos engenheiros que as desenvolveram, como Pratt, Howe e Warren. O tipo adotado na Ponte de Ferro é a treliça Pratt com montante extremo inclinado (Figura 3).

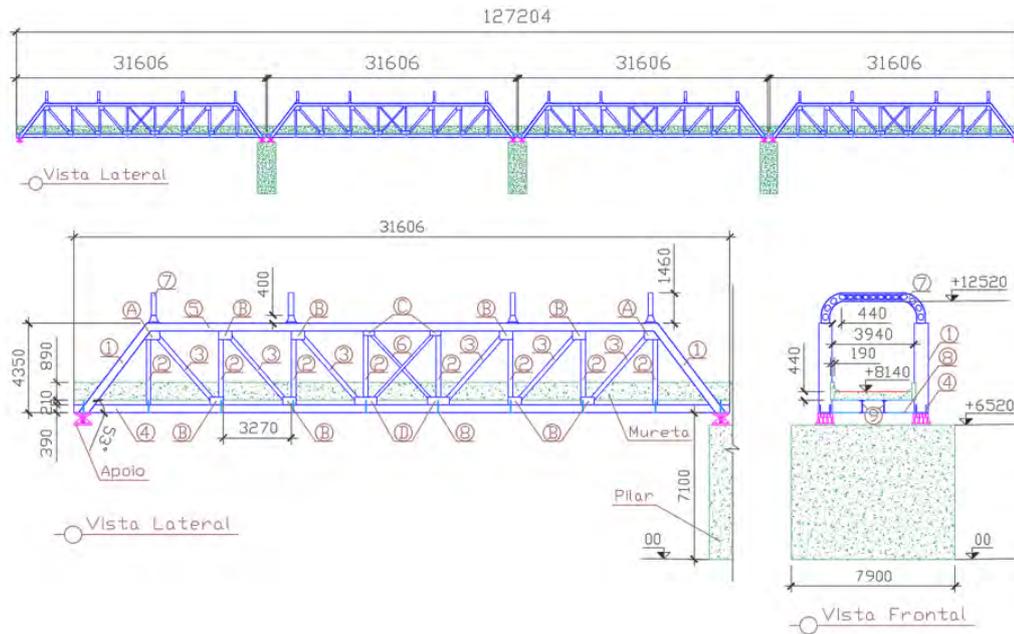
Figura 3: Treliça plana adotada no modelo estrutural da Ponte de Ferro com as denominações dos seus elementos.



Fonte: Autor (2019).

A Ponte de Ferro possui um comprimento total de, aproximadamente, 127,2 metros, largura de 3,94 metros e está situada a uma altura em torno de 7,1 metros do rio. A sua estrutura é formada por 4 trechos iguais com cerca de 31,6 metros de comprimento cada (Figura 4).

Figura 4: Modulação da estrutura da Ponte Ferro, vista Lateral e Frontal, com cotas em "mm".



Fonte: Autor (2019).

Cada módulo da Ponte de Ferro é composto por banzos, diagonais, montantes, contraventamentos, arcos transversais, vigas longitudinais e transversais, elementos executados com perfis fabricados pela composição de chapas conectadas com rebites. A estrutura é vinculada aos pilares da ponte por aparelhos de apoio do segundo gênero, fabricados com chapas de aço, que impedem as translações verticais e horizontais do conjunto, mas liberam a rotação no plano da treliça. As ligações entre os diversos elementos estruturais foram feitas com rebites de cabeça arredondada (Figura 5).

Figura 5: Vista lateral e inferior da estrutura da Ponte de Ferro e dos aparelhos de apoio.



Fonte: Autor (2019).

1.3. A conservação de pontes metálicas

1.3.1. Patologias

Os principais danos que ocorrem em estruturas metálicas, em função da sua utilização e contato com o ambiente construído, alvos de inspeção deste trabalho, são: a) Corrosão visível dos elementos de aço; b) Falha na camada de proteção; c) Falha de concordância em emendas; d) Deslocamentos excessivos; e) Desvio de geometria; f) Falha no gabarito de furação; g) Mau posicionamento do conector.

Segundo Santos, Tsutsumoto e Fioriti (2014), as estruturas metálicas contendo corrosão podem apresentar, principalmente, manchas superficiais de cor marrom-avermelhada, diminuição da seção transversal dos perfis, perda de massa uniforme nos perfis (corrosão uniforme) e perda de massa nos perfis (corrosão por pontos).

A agressividade ambiental, um dos fatores que determina a proteção necessária à estrutura, pode ser classificada em seis categorias de corrosividade: a) C1: muito baixa; b) C2: baixa; c) C3: média; d) C4: alta; e) C5-I: muito alta (industrial) e f) C5-M: muito alta (marinha). Para determinar a classe, a norma recomenda a exposição de espécimes de monitoramento feitos em aço de baixo carbono ou zinco após o primeiro ano de exposição, definindo em termos de perda de massa ou de espessura (ABNT NBR 8800:2008).

Dentre as técnicas de proteção anticorrosiva existentes, a aplicação de tintas é uma das mais utilizadas por apresentar facilidade de aplicação e de manutenção, custo-benefício atraente e demais propriedades em paralelo como, por exemplo, finalidade estética (BRINCK, 2004).

As falhas encontradas na camada de proteção podem ser, em sua maioria, identificadas visualmente. Segundo Nunes e Lobo (2014), as principais falhas e defeitos encontrados nas pinturas, são: 1) Impregnação; 2) Poros; 3) Pele ou casca de laranja; 4) Pulverização seca; 5) Empolamento; 6) Enrugamento; 7) Sangramento; 8) Oxidação precoce.

Dentre os aspectos que podem ser observados em falha de concordância em emendas, por sua vez, compreendem-se: descontinuidade da ligação nos perfis, saliências nas ligações e imprecisões geométricas dos perfis (SANTOS; TSUTSUMOTO; FIORITI, 2014). Quando a emenda é realizada por meio de

soldagem, algumas das falhas que podem ser inspecionadas visualmente, segundo Netto (2010), são: falta de fusão na soldagem, falta de penetração, sobreposição, mordedura, porosidade, respingos e penetração excessiva.

Deslocamentos excessivos, causados por efeitos de ações previstas ou não em projeto, ou ainda, por imperfeições executivas (PAIVA E BETINELLI, 2016, apud JUNIOR, 2019), podem ser identificados visualmente por meio de um desalinhamento de um elemento estrutural com o eixo original de projeto.

Com relação aos demais danos citados, dentre os principais aspectos observados, conforme Santos, Tsutsumoto e Fioriti (2014), encontram-se: desvio de geometria: amassamento e/ou avaria dos perfis e irregularidade geométrica dos mesmos; falha no gabarito de furação: furos sem a presença de parafusos/conectores e furos irregulares; mau posicionamento do conector: posicionamento incorreto do mesmo.

1.3.2. Reabilitação de Estrutura Existente

A primeira questão levantada quando se propõe a modificação ou reabilitação de uma estrutura é a existência da memória da sua construção, desenhos de fabricação, montagem e relatos da execução, informações importantes para avaliar a capacidade da estrutura atender os requisitos do projeto.

Quando não há uma documentação disponível, torna-se necessário investigações de campo para compreender o modelo estrutural proposto, medições da geometria dos perfis utilizados, retirada de amostras para testes e obtenção das propriedades dos materiais utilizados.

Percebe-se, contudo, que conceitos estruturais econômicos e bem-sucedidos em uma determinada época foram repetidos. Isso permite que avaliações em documentação de edificações construídas em um mesmo período, orientem as características dos materiais utilizados em obras similares.

O uso de materiais padronizados começou a evoluir com a criação da American Society for Testing and Materials (ASTM), fundada em 1898 para atender os constantes problemas de manutenção em trilhos que impediam o melhor desenvolvimento da construção ferroviária. Um resumo histórico dos padrões de materiais adotados pela ASTM no período de 1873 a 1952 foram compilados e publicados em um livro intitulado Iron and Steel Beams. No

documento, nota-se que colunas estruturais de ferro fundido foram utilizadas no início do século 20, mas raramente após o ano de 1910, sendo substituído por um aço estrutural mais dúctil do que ferro fundido e com maior resistência (GUSTAFSON, 2007).

Em 1900, a ASTM desenvolveu padrões de aço estrutural, ASTM A7 para pontes e ASTM A9 para edifícios, determinando requisitos mínimos a serem atendidos e, conseqüente, uniformidade aos padrões variáveis de materiais utilizados na época. Os padrões ASTM A7 e A9 foram consolidados em 1939 em um padrão ASTM A7 para pontes e edifícios que permaneceu até o início de 1960 quando ASTM A36 se tornou o aço estrutural predominante na construção civil (GUSTAFSON, 2007).

2. O COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA PONTE DE FERRO

2.1. Análise Qualitativa da Estrutura

Com o auxílio do Sistema Trame, Software Educacional para Análise Linear e Não Linear de Estruturas Planas de Aço, realizou-se uma análise qualitativa de um trecho da estrutura da ponte, com o intuito de estudar o comportamento simplificado da treliça longitudinal plana utilizada na obra.

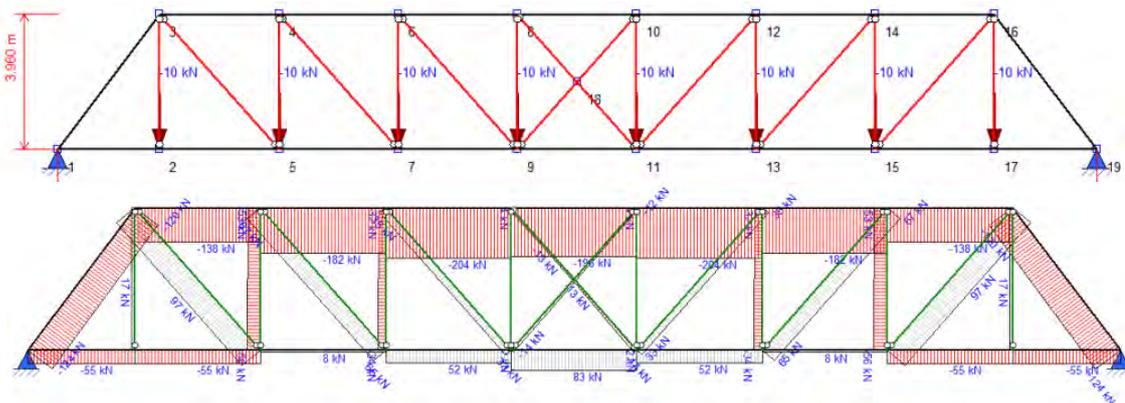
Para tal, tomou-se como base o trecho da ponte que se repete ao longo de sua estrutura. Utilizou-se perfis com a geometria correspondente aos elementos da ponte, levantada no local da obra e o aço padrão ASTM A36, material com características mecânicas semelhantes ao utilizado. Para a análise do comportamento estrutural, considerou-se o peso próprio dos elementos e uma carga unitária vertical de 10 kN nos nós da estrutura.

As ações atuantes no tabuleiro da Ponte de Ferro são transferidas para as vigas transversais e delas para os nós das treliças longitudinais, fazendo com que os seus componentes fiquem submetidos, predominantemente, a esforços axiais de compressão e tração. As diagonais externas, o banzo superior e os montantes próximos aos apoios ficaram comprimidos. As diagonais internas e os elementos de contraventamento apresentaram esforços de tração.

O banzo inferior encontrou-se tracionado na região central de seu vão. Devido ao fato de ter sido adotado apoio de 2º gênero nos dois vínculos da estrutura, indeslocáveis para translações longitudinais, o banzo inferior ficou submetido à esforços de compressão nos trechos extremos.

Os elementos mais solicitados da treliça são as diagonais externas e o banzo superior, os quais estão sujeitos apenas ao esforço de compressão. Por serem mais críticos, esses elementos possuem maior responsabilidade estrutural, requerendo, portanto, maior atenção nos procedimentos de inspeção (Figura 6 e 7).

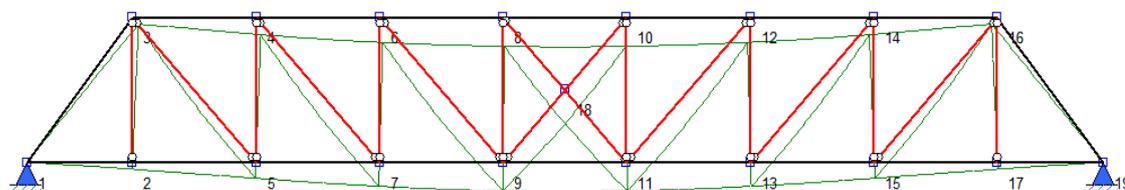
Figura 6: Modelo estrutural da treliça da Ponte de Ferro no sistema Trame, a) cotas entre os eixos dos elementos estruturais, indicação das cargas e numeração dos nós, b) diagrama dos esforços de tração (positivos) e de compressão (negativos).



Fonte: Autor (2019).

Com relação aos deslocamentos verticais, os maiores observados foram nos nós centrais do vão da ponte, sendo eles: 8, 9, 10, 11 e 18 (Figura 19). Como foram aplicadas cargas iguais nos nós da estrutura, é coerente que os maiores deslocamentos estejam nos nós localizados mais distantes dos apoios, ou seja, no centro do vão.

Figura 7: Linha elástica da treliça da Ponte de Ferro no sistema Trame.

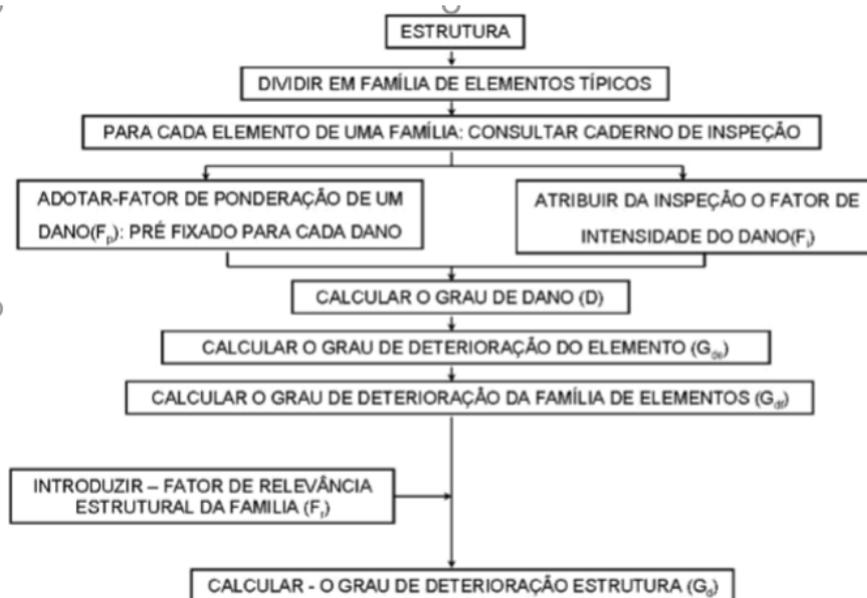


Fonte: Autor (2019).

2.2. Grau de Deterioração da Estrutura – Metodologia GDE

Com base em Klein (apud CASTRO, 1994), Castro (1994) desenvolveu uma metodologia denominada GDE/UnB para avaliação quantitativa do grau de deterioração de estruturas. Essa metodologia foi reformulada por Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007) para avaliação de importantes construções na cidade de Brasília e adaptada por Azambuja (2012) para aplicação em estruturas metálicas (apud JUNIOR, 2019).

Figura 8: Sequência de etapas para o desenvolvimento da metodologia GDE/UnB.



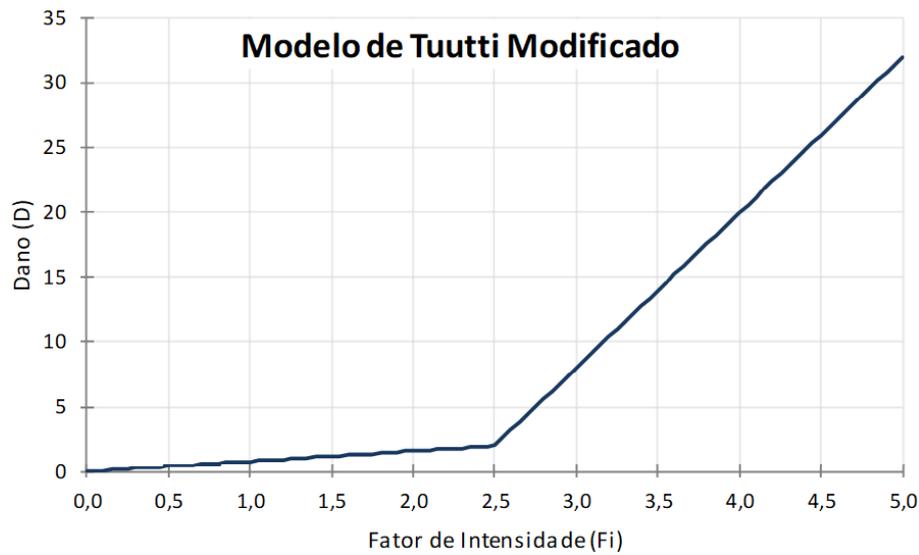
Fonte: Boldo (2002).

Na metodologia de inspeção GDE/UnB, os elementos estruturais são, primeiramente, agrupados em famílias, especificando um Fator de Relevância (F_r) para cada uma delas, variando de 1 a 5. Em seguida, é necessário identificar os principais danos que a estrutura pode apresentar e atribuir um Fator de Ponderação (F_p) para cada um deles, conforme a relevância desse dano, em uma escala de 1 a 5 (sendo 5 a situação mais desfavorável).

Após esta etapa, é estabelecido o Fator de Intensidade (F_i), que quantifica o grau do dano que o elemento apresenta, variando de 0 a 4, sendo: 0 – sem lesões; 1 – lesões leves; 2 – lesões toleráveis; 3 – lesões graves; e 4 – estado crítico. Dispondo dos dois fatores, é possível calcular o Grau do Dano (D) do elemento, o Grau de Deterioração do elemento (G_{de}) e o de sua família (G_{df}).

A formulação do cálculo do grau de dano por CASTRO (1994), foi baseada no modelo de evolução da corrosão de armadura proposto por TUUTTI (1982). Este modelo foi desenvolvido para descrever o mecanismo de corrosão em armaduras de reforço do concreto, fornecendo uma possível descrição geral de como o processo de deterioração pode se desenvolver no interior de uma estrutura de concreto (Figura 9).

Figura 9: Gráfico do modelo de Tuutti modificado (F_i limite igual a 2,5) com F_p igual a 1,0.



Fonte: Autor (2019).

O Grau de Deterioração da Estrutura (G_d), por fim, será obtido com base no grau de deterioração de cada família de elementos inspecionados, ponderado por um Fator de Relevância Estrutural (F_r), sendo este definido de acordo com a importância da família na deterioração da estrutura.

Obtido o valor de G_d , verifica-se em qual nível de deterioração a estrutura é classificada e as ações que deverão ser adotadas (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação dos níveis de deterioração da estrutura conforme a metodologia GDE/UnB.

Nível de deterioração da estrutura	G_d	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 inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: Fonseca (2007).

2.2.1. Aplicação da metodologia na ponte

A Ponte de Ferro está localizada em uma área predominantemente urbana. Portanto, conforme a ABNT NBR 8800:2008, foi classificada na categoria de corrosividade C3 (média).

De acordo com a etapa inicial da metodologia de inspeção GDE/UnB,

segundo as adaptações propostas por Azambuja (2012) para aplicação em estruturas metálicas (apud JUNIOR, 2019), foram criadas as seguintes famílias para a estrutura da Ponte de Ferro e adotados os respectivos fatores de relevância (F_r): Apoios ($F_r = 5$), Banzos ($F_r = 5$), Montantes ($F_r = 3$) e Diagonais ($F_r = 4$). Os elementos estruturais da ponte foram inspecionados levando em consideração os seguintes danos patológicos e seus respectivos fatores de ponderação (F_p): corrosão visível ($F_p = 5$), falha de concordância em emendas ($F_p = 3$), falha no gabarito de furação ($F_p = 3$), mau posicionamento de conector ($F_p = 3$), desvio de geometria ($F_p = 3$), deslocamentos excessivos ($F_p = 4$) e falha na camada de proteção ($F_p = 5$).

Figura 10: Trecho inspecionado da Ponte de Ferro.



Fonte: Autor (2019).

Por se tratar de uma ponte de grande extensão e com elevada quantidade de elementos, optou-se por realizar a inspeção visual em apenas um dos quatro trechos da Ponte de Ferro. Para complementar, inspecionou-se também os demais apoios que se encontram nos pilares centrais (Figura 10).

A metodologia GDE/UnB aplicada na Ponte de Ferro, desenvolvida de maneira simplificada na inspeção visual da estrutura metálica, apresentou Grau de Deterioração (G_d) igual a 157, representando um estado crítico (> 100) com ações a serem adotadas de “Inspeção especial emergencial (Figura 11). Planejar intervenção imediata”, conforme a classificação da Tabela 1.

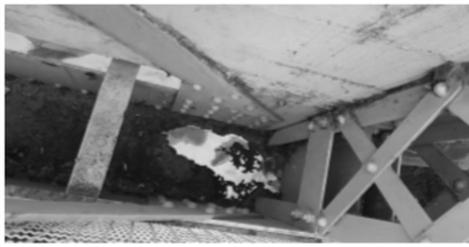
Figura 11: Resultados da metodologia GDE/UnB aplicado no trecho vistoriado da estrutura da Ponte de Ferro.

Grau de deterioração das famílias (Gdf)					Grau de deterioração da estrutura (Gd)		
Família	F_r	$G_{de}(máx)$	ΣG_{de}	Gdf	157		
Apoios	5	114	509	152	Nível		
Banzos	5	163	348	202	5 Crítico		
Montantes	3	14	169	20	Recomendação: Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.		
Diagonais	4	153	1063	209			
$\Sigma G_{df(i)} \times F_r(i)$				2666			
$\Sigma F_r(i)$				17			

Fonte: Autor (2019).

Os danos mais frequentes observados no trecho vistoriado estão relacionados com áreas visíveis de corrosão no aço estrutural ou com falhas na camada de proteção dos elementos. O banzo inferior localizado ao lado da passarela de pedestres (BZ4) foi o elemento com maior grau de deterioração inspecionado, tendo alcançado o valor G_{de} de 163 (Figura 11), que correspondente a um nível crítico, afetado principalmente, pela elevada corrosão do material, por desvios da sua geometria original e por falhas na sua camada de proteção (Tabela 2).

Tabela 2: Grau de Deterioração do Elemento (G_{de}) da família Banzos, identificado como BZ4 na estrutura da treliça longitudinal do trecho inspecionado da Ponte de Ferro.

Família		Banzos			Observação
Elemento		BZ4			
Danos		F_p	F_i	D	
1	corrosão visível	5	4	100	
2	falha de concordância em emendas	3	1	2	
3	falha no gabarito de furação	3	0	0	
4	mau posicionamento do conector	3	1	2	
5	desvio de geometria	3	4	60	
6	deslocamentos excessivos	4	0	0	
7	falha na camada de proteção	5	4	100	
		D(máx) 100			
		$\Sigma D(i)$ 264,8			
		Gde 163			

Fonte: Autor (2019).

A prefeitura da cidade de Cachoeiro de Itapemirim relatou não ter informações, desde a sua inauguração, de manutenções realizadas na Ponte de Ferro e a inspeção não detectou danos pontuais em elementos componentes da estrutura, provocado, por exemplo, por choques ou por usos indevidos.

3. CONCLUSÃO

O levantamento do modelo estrutural da Ponte de Ferro foi relevante no desenvolvimento da inspeção da Ponte de Ferro. Por meio dele, de uma maneira qualitativa, foi possível efetuar o mapeamento dos elementos mais solicitados

quanto a esforços e deslocamentos, determinando os pontos mais importantes para a aplicação da metodologia GDE/UnB.

A análise qualitativa da treliça longitudinal da ponte teve por finalidade verificar o comportamento da estrutura, demonstrar quais são as peças mais solicitadas e os nós com maiores deslocamentos. Isso permitiu focar a inspeção nos elementos estruturais mais críticos da Ponte de Ferro e conseqüentemente, tornar mais assertiva a inspeção visual. Considera-se essa etapa uma importante atividade no fluxo dos trabalhos de vistoria estrutural.

A metodologia utilizada para avaliação das condições da estrutura da Ponte de Ferro, denominada, GDE/UnB, adaptada para a inspeção de elementos metálicos, apontou para um estado global Crítico ($G_d = 157$), determinando ações a serem adotadas de “Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata”.

O estado crítico pode acontecer por um eventual dano pontual em elementos componentes, provocado, por exemplo, por choques ou por usos indevidos, fatos que não foram observados durante a inspeção. Portanto, entende-se que o grau de deterioração detectado surgiu da aparente deficiência de manutenções preventivas na estrutura da ponte.

A Ponte de Ferro, tombada pelo Patrimônio Histórico e Cultural em 2003, faz parte da identidade cultural de Cachoeiro do Itapemirim, está entre as construções mais antigas do município, representa um marco importante na formação da sociedade. E, por sua funcionalidade, a ponte ainda é um importante elemento de conexão urbana, utilizada no fluxo de veículos leves, bicicletas e pedestres, interligando o centro da cidade com o bairro dos Ferroviários, torna-se importante o investimento na sua manutenção.

Assim, propõe-se, de maneira imediata, conforme resultado do estudo, a inspeção detalhada de toda a extensão da estrutura da ponte para a obtenção de resultados mais acurados. Sugere-se ainda, após a recuperação de suas condições de projeto, um trabalho contínuo de monitoramento da Ponte de Ferro, atrelado a um plano adequado de manutenções preventivas.

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estrutura de aço e de estrutura mista de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

BITENCOURT, Diógenes. Rebites. [s.d.]. 39 slides. Disponível em: <https://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Rebites/49725633.html>. Acesso em: 25 set. 2019.

BOLDO, P. 2002. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação (Mestrado). Brasília: Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Civil, 2002.

BRINCK, Fabiana Malta. 2004. **Efeito da corrosão na integridade estrutural da Ponte Metálica Marechal**. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil, 2004.

CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM. **Lei Nº 5484, de 21 de outubro de 2003**. Dispõe sobre Patrimônios Históricos, Culturais e Ambientais do Município de Cachoeiro de Itapemirim e dá outras providências. Cachoeiro de Itapemirim, 2003.

CASTILHOS, André. **Passarela em estrutura treliçada de aço: comparação de diferentes tipos de treliça**. 2014. Trabalho de Diplomação [Graduação em Engenharia Civil] – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

CASTRO, E.K., **Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado em Estruturas), Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994.

FERROVIA, Pedro. **Linha do trem que atravessava a ponte de ferro até a década de 90**. [s.d.]. 1 fotografia, p&b. (Coleção Acervo Iconográfico do Museu Ferroviário Domingos Lage, Cachoeiro de Itapemirim, ES).

FERROVIA, Pedro. **Ponte de ferro, montada em 1910**. [s.d.]. 1 fotografia, p&b. (Coleção Acervo Iconográfico do Museu Ferroviário Domingos Lage, Cachoeiro de Itapemirim, ES).

FONSECA, R. P. 2007. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenção e propostas de manutenção**. Dissertação (Mestrado). Brasília : Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Civil, 2007.

GUSTAFSON, Kurt. **Evaluation of Existing Structures. Modern Steel Construction**. February de 2007.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Biblioteca. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=31242&view=detalhes>>. Acesso em: 31 jul. 2019.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cachoeiro de Itapemirim. Disponível em:

<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/cachoeiro-de-itapemirim/panorama>>.
Acesso em: 17 set. 2019.

JUNIOR, Arlindo Tavares de Souza. 2019. **Avaliação da degradação de torres de sustentação estruturadas em aço: estudo de caso na região amazônica**. Belém: Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)., 2019.

MACIEL, Manoel Gonçalves. **Voltando ao Cachoeiro Antigo**. 1 ed. Cachoeiro de Itapemirim: GRACAL, 2003. v. 2.

MOREIRA, Evandro. **Cachoeiro: Uma História de Lutas. Cachoeiro de Itapemirim**: Editoração Eletrônica, 2004. v. 1.

MOREIRA, Evandro. **Cachoeiro: Uma História de Lutas. Cachoeiro de Itapemirim**: Editoração Eletrônica, 2004. v. 2.

MOREIRA, Evandro. **Nosso Pequeno Cachoeiro: Breve radiografia de um Município que já foi Atenas Capixaba**. Cachoeiro de Itapemirim: Editora Cachoeiro Cult, 2014.

NETTO, E. P. G. **Estudo de caso da implantação do controle de qualidade na fabricação e soldagem de estruturas metálicas em aço carbono**. 47 p. Monografia (Curso Técnico em Mecânica). São José do Rio Preto, 2010.

NUNES, L. P.; LOBO, A. C. O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. 5 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

O'CONNOR, Colin. **Pontes: superestruturas**. Rio de Janeiro: LTC, 1975. v. 1.

OWENS, G. W.; CHEAL, B. F. **Structural steelwork connections**. London, Butterworth, 1989.

PARKER, Bev. **A History of Wednesbury**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.historywebsite.co.uk/articles/Wednesbury/PatentShaft1.htm>>.
Acesso em: 05 set. 2019.

SANTOS, Thais da Silva; TSUTSUMOTO, Nayra Yumi; FIORITI, Cesar Fabiano. **Manifestações Patológicas em Edificações com Estruturas de Aço em Presidente Prudente**. São Paulo: Construmetal – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica, 2014.

TUUTTI, Kyösti. **Corrosion Steel in Concrete**. Stockholm: Sewdish Cement and Concrete Research Institute, 1982.

VIDAL, José Bento. **Ponte de Ferro no dia em que trafegou o trem inaugural**. 1910. 1 fotografia, p&b. (Arquivo Público Municipal de Cultura de Cachoeiro de Itapemirim - ES).

III**CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS DE APARTAMENTO DA COLINA VELHA NA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA: HISTÓRIA, ARQUITETURA, PRÉ-MOLDADO, SISTEMAS ESTRUTURAIS E PATOLOGIAS****CHARACTERIZATION OF OLD COLINA'S APARTMENT BLOCKS IN THE UNIVERSITY OF BRASÍLIA: HISTORY, ARCHITECTURE, PRECAST, STRUCTURAL SYSTEMS AND PATHOLOGIES****Marcelo Aquino Corte Real da Silva**

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Brasília – DF, Brasil

arq.marcelo.real@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/4719941684572423>

Marcio Augusto Roma Buzar

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Brasília – DF, Brasil

buzar@unb.br

<http://lattes.cnpq.br/6339433870219875>

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Brasília – DF, Brasil

joacpantoja@unb.br

<http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>

Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia

Brasília – DF, Brasil

leinojosa@unb.br

<http://lattes.cnpq.br/5722842765569602>

Resumo: Este artigo se propõe a destacar aspectos históricos, arquitetônicos, construtivos e patrimoniais do conjunto arquitetônico da Colina, mais especificamente, os Blocos A, B, C e D, projetados pelo arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé) em 1962 e construídos, apenas, um ano depois com uso pioneiro do pré-moldado. Por esta perspectiva, a pesquisa se desdobra em seis tópicos, abordando inicialmente: as características do lugar em que está inserido, o contexto de sua construção e como os acontecimentos dos anos de 1950 influenciaram na viabilização da experiência com pré-moldados na UnB, os aspectos de sua arquitetura e processo construtivo. Além de concluir com uma análise estrutural que avalia as condições de equilíbrio dos maiores blocos do conjunto, junto com uma análise superficial que relaciona as manifestações patológicas do conjunto e a necessidade de se preservar o conjunto.

Palavras-chaves: Pré-moldado, Industrialização da Construção, Colina, Sistema Estrutural

Abstract: This article aims to highlight historical, architectural, constructive and patrimonial aspects of the Colina's architectural complex, more specifically, Blocks A, B, C and D, designed by the architect João Filgueiras Lima (Lelé) in 1962 and built, only one year later with pioneering use of precast. From this perspective, the research is divided into six topics, initially addressing: the

characteristics of the place in which it is inserted, the context of its construction and how the events of the 1950s influenced the feasibility of the experience with precast in the UnB, the aspects of its architecture and construction process. In addition to concluding with a structural analysis that assesses the equilibrium conditions of the largest blocks in the set, along with a superficial analysis that relates the pathological manifestations of the set and the need to preserve the set.

Keywords: Precast, Construction Industrialization, Colina, Structural System

1. O CONJUNTO ARQUITETÔNICO DAS “COLINAS”

A Universidade de Brasília (UnB) foi fundada em abril de 1962, exatamente dois anos após Juscelino Kubitschek inaugurar a Nova Capital. A concepção da universidade vem com uma série de princípios inovadores, onde o antropólogo e reitor Darcy Ribeiro¹ definiu as bases da instituição; o educador e membro do Conselho Nacional de Educação, Anísio Teixeira² planejou o modelo pedagógico; e o arquiteto Oscar Niemeyer, sob a coordenação do Centro de Estudos e Planejamento Arquitetônico e Urbanístico (CEPLAN), colaborou na implantação física do *campus*.

Localizada na porção norte da gleba A do campus Darcy Ribeiro (Figura 1), a área destinada a Colina, foi idealizada pelos arquitetos Lucio Costa e Oscar Niemeyer, para abrigar os professores e servidores da UnB. Atualmente, a região é composta por onze blocos sob pilotis, projetados pelos arquitetos, João Filgueiras Lima (Lelé), Paulo Marcos Paiva de Oliveira e Silvano da Silva Pereira, em momentos distintos da história da universidade.

Durante os anos iniciais da UnB, a demanda dos blocos da Colina surge sob à justificativa de substituir os pavilhões da OCA, que estavam servindo de alojamento para os professores. Os quatros primeiros edifícios foram construídos, entre os anos de 1962 e 1963, sendo os primeiros ocupantes, professores e alunos dos cursos de pós-graduação (instrutores), organizados em dormitórios coletivos nas unidades habitacionais.³

¹ Darcy Ribeiro foi Ministro da Educação e Reitor da UnB entre os anos de 1962-1963; Ministro Chefe da Casa Civil entre 1963-1964; Vice-Governador do estado do Rio de Janeiro entre 1983-1987 e Senador pelo estado do Rio de Janeiro entre 1991-1997

² Anísio Teixeira foi Diretor do Instituto Nacional de Estudos Pedagógicos entre 1952-1964 e Reitor da Universidade de Brasília entre 1963-1964

³ Ver SCHLEE, A. R. et al. Registro Arquitetônico da Universidade de Brasília. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2014 p. 46.

Os conjuntos de apartamentos da Colina – também conhecidos por Colina Velha – compostos pelos blocos A, B, C e D (Figura 2), foram projetados por Lelé em 1962 e construídos em 1963. Diferentemente do conjunto arquitetônico de Serviços Gerais e dos Galpões de Serviços Gerais, que foram executados pela construtora Rabelo S/A, o conjunto da Colina ficou a cargo da construtora de braço dinamarquesa Christiani Nielsen, que entrou no Brasil no começo do Século XX e executou uma das primeiras experiências com pré-fabricação no país – o Hipódromo da Gávea, em 1926.

Os primeiros blocos, também, se destacam pelo uso parcial do pré-moldado, sendo considerados – junto com o Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo (CRUSP, 1962-1963), assinado pelo arquiteto Eduardo Kneese⁴ – um dos casos pioneiros de aplicação desta tecnologia construtiva em edifícios de uso residencial. Vale ressaltar, que os Blocos de Apartamentos da Colina (A, B, C e D) fazem parte de um conjunto arquitetônico experimental, sendo destacado no documentário *Universidade de Brasília: Primeira experiência em pré-moldado (1962-1970)*, produzido pela UnB e dirigido por Heinz Forthmann sob a assessoria técnica de Lelé.

No final da década de 1980, com os crescimentos da UnB e de seu quadro funcional, foi executado a construção de seis blocos (E, F, G, H e I), todos de autoria do arquiteto Paulo Marcos de Paiva Saraiva, constituindo a intitulada, Colina Nova. Em números, os novos edifícios abrigam 264 unidades habitacionais, sendo 54 com dois quartos, 156 com três quartos e 54 com quatro quartos. Apesar da manutenção dos pilotis, os edifícios desta segunda fase da Colina alteraram o gabarito de três, para seis pavimentos, acarretando na modificação da escala do conjunto (Figura 3).⁵

⁴ Eduardo Kneese de Mello (São Paulo SP 1906 - idem 1994). Foi um arquiteto paulista e um grande estudioso da pré-fabricação no contexto dos anos de 1950 e 1960, sendo coordenador do curso de pré-fabricação da *Centre Scientifique du Batiment* de Paris, realizado na Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo (FAU-USP), integrou a equipe da Novacap à convite de Oscar Niemeyer (1956-1960), além de ter sido autor do Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo (CRUSP), que na época, havia sido idealizados para os Jogos Pan-americanos de 1963. Ver EDUARDO Kneese de Mello. In: ENCICLOPÉDIA Itaú Cultural de Arte e Cultura Brasileiras. São Paulo: Itaú Cultural, 2020. Disponível em: <<http://enciclopedia.itaucultural.org.br/pessoa286244/eduardo-kneese-de-mello>>. Acesso em: 01 de ago. 2020. Verbetes da Enciclopédia. ISBN: 978-85-7979-060-7

⁵ Ver CAVALCANTE, N. CEPLAN: 50 anos em 5 tempos. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. Brasília, p. 512. 2015. p. 267.

Após cinco anos da construção dos seis blocos que representam a Colina Nova, no ano de 1992, foi construída a Casa do Estudante Universitário – Pós-graduação (Bloco K), assinado por Paulo Marcos de Paiva Saraiva, com a colaboração de Silvano da Silva Pereira, sendo o último bloco construído na área residencial do *campus* Darcy Ribeiro.



Figura 1 – Área correspondente ao Campus Darcy Ribeiro (esquerda). Localização dos blocos que compõem a área da Colina (direita). Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 2 – Blocos correspondentes a Colina Velha (A, B, C e D). Fonte: PARAHYBA, 2017. Acervo do autor



Figura 3 – Colina Nova: Edifícios com seis pavimentos. Bloco I (esquerda) e Bloco G (direita). Fonte: Acervo do autor

2. A EXPERIÊNCIA COM PRÉ-MOLDADOS NA UNB

Nos anos de 1961 e 1962 o campus Darcy Ribeiro recebeu suas primeiras construções, em uma área de aproximadamente 13.000m², que seria composta por nove edificações provisórias para que abrigassem todos os serviços da universidade, até a conclusão das definitivas. Durante este período, os alojamentos de professores e alunos eram improvisados e estavam espalhados por diversas áreas do campus. As proximidades do ICC, nos pavilhões OCA e barracões próximos ao Centro Olímpico alojavam centenas de pessoas à espera das construções definitivas.⁶

Até a inauguração da UnB – em 21 de abril de 1962 – o *campus* contava com poucas edificações construídas, sendo composta pelos pavilhões em madeira projetados por Sérgio Rodrigues (OCA I e II) e os edifícios que formam a atual Faculdade de Educação (FE1, FE3 e FE5). A demanda construtiva, o déficit habitacional e a necessidade de agilidade nas obras, possivelmente, foram condicionantes que viabilizaram a aplicação da técnica do pré-moldado, sendo aplicada – de forma integral ou associado aos sistemas convencionais de construção – em todas as construções entre os anos de 1962 e 1972 (Tabela 1).

Inicialmente, a responsabilidade pela materialização do conjunto arquitetônico em pré-moldado da universidade, foi por parte do CEPLAN – criado em 1962 – e seu corpo técnico, que naquele contexto, tinha como função de assessorar a reitoria e estava sob a coordenação de Oscar Niemeyer, com consultoria de Lucio Costa e o engenheiro estrutural, Joaquin Cardozo, além da secretaria executiva de Lelé, que segundo o próprio arquiteto, destaca o papel do órgão:

O Ceplan era o centro de Planejamento da Universidade. Foi criado para planejar, construir toda a universidade. Darcy, com aquela ambição dele, acha que poderia criar um grande centro de projetos, que tivesse relações com outras instituições, inclusive internacionais. Lá nós fizemos os projetos para Brasília.⁷

⁶ Ver SCHLEE, A. R. et al. Registro Arquitetônico da Universidade de Brasília. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2014 p. 46.

⁷ Ver LATORRACA, G. João Filgueiras Lima Lelé. São Paulo: Editora Blau - Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, 1999. p. 19

CONSTRUÇÕES QUE FIZERAM USO DO PRÉ-MOLDADO ENTRE 1962-1972

EDIFÍCIO	PROJETO - CONSTRUÇÃO	ÁREA	AUTORIA	COLABORAÇÃO	CONSTRUTORA
PROTÓTIPO	1962-1962	47m ²	Oscar Niemeyer	Lelé (Execução e Pré-fabricação)	Rabello S. A
SG 1: INSTITUTO DE ARTES	1962-1963	2.677m ²	Oscar Niemeyer	Lelé (Execução e Pré-fabricação) e Alda Rabelo (Paisagismo original)	Rabello S. A
SG 2 e SG4: DEPARTAMENTO DE MÚSICA	1962-1963	993m ² 879m ²	Oscar Niemeyer	Lelé (Execução e Pré-fabricação) e Alda Rabelo (Paisagismo original)	Rabello S. A
SG 8: AUDITÓRIO DE MÚSICA	1962-1964	254m ²	Oscar Niemeyer	Lelé (Execução e Pré-fabricação) e Alda Rabelo (Paisagismo original)	Rabello S. A
SG 10: CENTRO DE PLANEJAMENTO OSCAR NIEMEYER	1962-1963	1.203m ²	Oscar Niemeyer	Lelé (Execução e Pré-fabricação) e Alda Rabelo (Paisagismo original)	Rabello S. A
INSTITUTO DE TEOLOGIA	1963- INCOMPLETO	7.960m ²	Oscar Niemeyer	Ernesto Guilherme Walter (Projeto Estrutural)	-
COLINA: A-D	1962-1963	8.408m ²	Lelé	-	Christiani Nielsen
COLINA: B-C	1962-1963	5.200m ²	Lelé	-	Christiani Nielsen
AMBULATÓRIO 1	1963-1964	8.108m ²	Sabino Barroso	-	Rabello S. A
ICC: INSTITUTO CENTRAL DE CIÊNCIAS	1963-1972	126.611m ²	Oscar Niemeyer	Lelé (Execução e Pré-fabricação), Miguel Alves Pereira, Nelson Saraiva da Silva e Paulo de Melo Zimbres (Paisagismo Internos e Estacionamentos)	Rabello S. A
SG 11: LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL	1963-1964	3.747m ²	Lelé	-	Rabello S. A
SG 12: LABORATÓRIO DE ENGENHARIA ELÉTRICA	1963-1964	5.670m ²	Lelé	-	Rabello S. A
TOTAL	10 anos	171.757m²	-	-	-

Tabela 1 – Ficha técnica dos edifícios que fizeram uso do pré-moldado nos anos iniciais da UnB. Fonte: Desenvolvido pelo autor

Para compreender a experiência com pré-moldados na UnB, e consequentemente, do conjunto da Colina, é importante salientar alguns eventuais acontecimentos na década de 1950 que impulsionam e contribuíram para o debate entorno da construção industrializada, como: a mudança na produção arquitetônica de Oscar Niemeyer, a experiência do arquiteto na Europa, no contexto do Pós-guerra, com o projeto dos edifícios residenciais no bairro de Hansa na Alemanha, além da abordagem da temática (industrialização das construções), que passava a ter espaço dos editoriais da época. É importante ressaltar, que além da experiência da UnB, outras duas estavam sendo executadas no mesmo período, sendo os casos do CRUSP (1962-1963) e da Refinaria Alberto Pasqualini (REAP, 1962-1968), projetada pelos arquitetos Carlos Fayet, e a Equipe de Arquitetos (EA). Estes antecedentes a construção industrializada e o uso sistemático do pré-moldado são destacados na cronologia da Figura 4.

Na virada da metade do século XX, a obra de Niemeyer passa por uma nova abordagem, dando ênfase maior aos sistemas estruturais. Esta característica é perceptível em obras que antecedem a construção da UnB, como: os Teatros para o Ministério da Educação no Rio de Janeiro (1948), a Fábrica Duchon em Guarulhos (1950), o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) em São Carlos (1950) e o Anexo do late Clube de Belo Horizonte (1962)⁸. Vale ressaltar, também, uma proposta não executada pelo arquiteto, que era uma demanda solicitada pelo então Prefeito de Brasília, José Sette Câmara Filho⁹, que consistia em um edifício de 7 pavimentos, que deveria ser construído sob lajes pré-moldadas de 62,5cm de largura por 8m de comprimento, configurando unidades habitacionais de aproximadamente 50m², totalizando 14 unidades por andar.

Esta transição na trajetória de Niemeyer foi fundamental, quando adaptada ao pré-fabricado, esse tipo de estratégia projetual acabou sendo natural. Em suas obras na UnB, os sistemas estruturais ganham bastante destaque e normalmente são os componentes (vigas, lajes, painéis) produzidos em série,

⁸ Ver VILELA, A. *Architecture without Applause The Manufactured Work of João Filgueiras Lima, Lelé*. Tese de Doutorado. ETH Zurich. Zurich, p. 323. 2019. (DISS. ETH NO. 25146). p. 41.

⁹ José Sette Câmara Filho foi prefeito de Brasília entre os anos de 1961 e 1962, anteriormente havia sido Secretário-Chefe do Gabinete Civil da Presidência da República, entre 1952 e 1954, Foi Cônsul em Florença, na Itália, em 1954; Subchefe, em 1956 e chefe, em 1959, do Gabinete Civil da Presidência da República e governador do estado da Guanabara em 1960.

Tema 1: Estruturas e Arquitetura

III - Caracterização dos Blocos de Apartamento da Colina Velha na Universidade de Brasília: História, Arquitetura, Pré-moldado, Sistemas Estruturais e Patologias

no ICC por exemplo, boa parte da forma do edifício é composta por um sucessão de pórticos espaçados a cada três metros, outro exemplo que destaca esta característica é o pavilhão do CEPLAN, onde grande parte de sua massa visual é composta do elementos estruturais e pré-moldados.

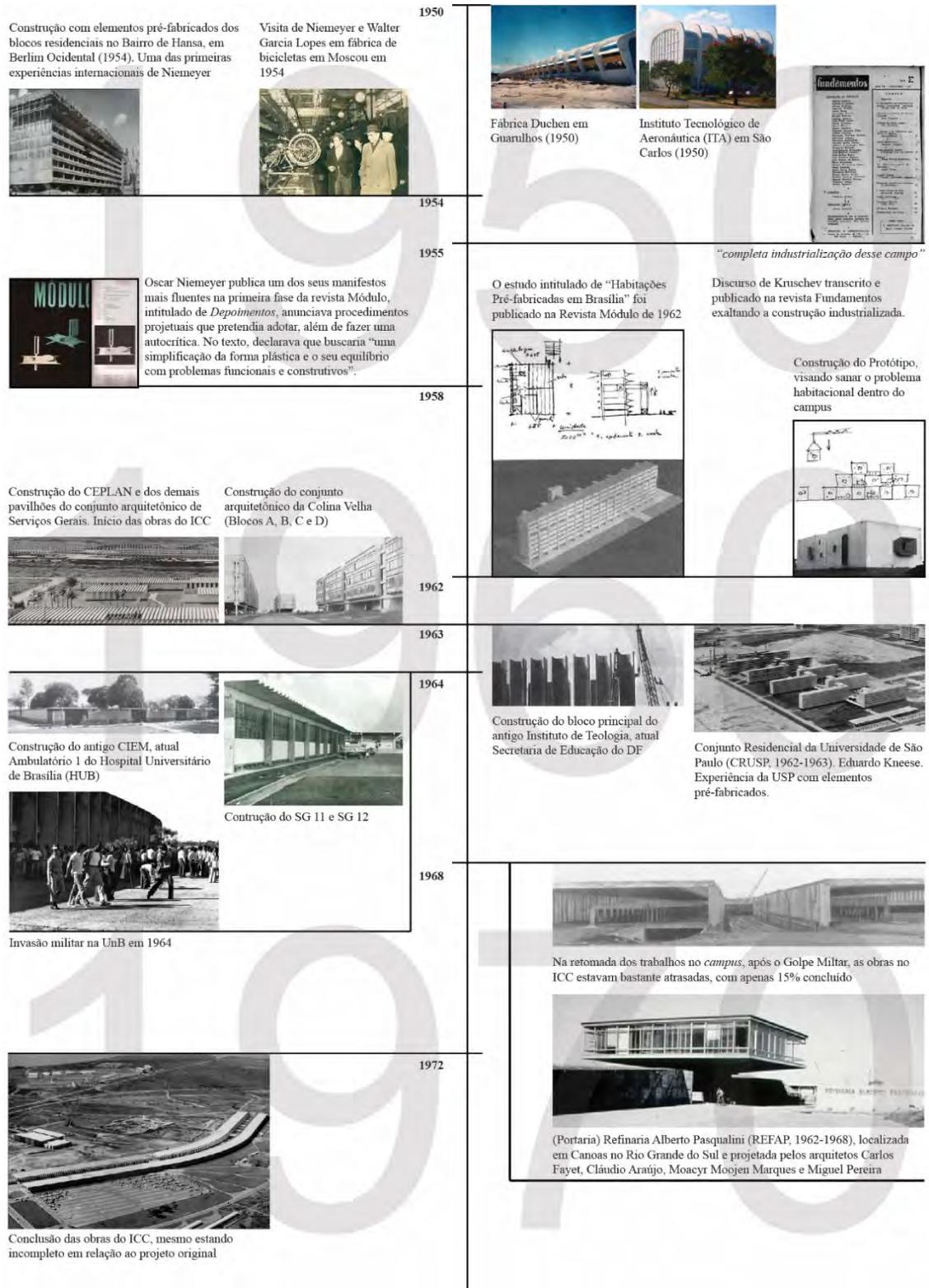


Figura 4 – Cronologia das obras, projetos e publicações que estimularam o debate entorno da construção industrializada. Fonte: Desenvolvido pelo autor

A maior abordagem da estrutura na carreira de Oscar Niemeyer é destacada pelo próprio arquiteto:

Eu passei a me interessar por soluções simples e compactas, em problemas de hierarquia e caráter arquitetônico, na harmonia entre a unidade dos edifícios, e expressar essas qualidades não de forma secundária, e sim pela própria estrutura, através da integração adequada dentro da concepção plástica original.¹⁰

A experiência no continente europeu, com o projeto dos blocos residenciais, no bairro de Hansa na Alemanha, levou Niemeyer a ter contato com a construção industrializada, no contexto do Pós-guerra, em um momento de grande investimento – por parte dos países europeus – na tecnologia do pré-fabricado, motivado, pela grande demanda gerada pela reconstrução das cidades.

Na coordenação do CEPLAN, Niemeyer teve as condições necessárias para implantar o uso do pré-fabricado nas construções do campus da UnB. A grande demanda construtiva, os prazos curtos e a necessidade de poupar custos, foram catalisadores que justificavam o treinamento de sua equipe, para se iniciar um processo de construção industrializada. Neste processo, o arquiteto Lelé foi fundamental, pois foi responsável por uma série de obras e foi um dos membros do corpo técnico do CEPLAN, que foi se especializar no leste europeu, segundo o próprio arquiteto:

Oscar sempre teve vontade de atuar na coisa da pré-fabricação. Ele me convidou muitas vezes. Na época da Universidade ele disse: “Agora vamos fazer um negócio pré-fabricado”. Não se fazia pré-fabricado no Brasil. Então era necessário tomar um conhecimento maior do problema técnico da obra. Darcy arranhou uma viagem, em 62, para países do leste, para que eu pudesse me especializar. Eu e Sabino Barroso fomos para a União Soviética, Polônia, para a Alemanha Oriental, para a Tchecoslováquia, esses países todos que estavam fazendo muita coisa pré-fabricada. O objetivo era implantar uma fábrica dentro da universidade. Cheguei a fazer o projeto da fábrica e os prédios iniciais do ICC, já com pré-fabricado. O ICC era o Instituto Central de Ciências, o minhocão.¹¹

Neste contexto, o interesse pelo conjunto arquitetônico da Colina, de autoria

¹⁰ Ver UNDERWOOD, David. Oscar Niemeyer e o Modernismo de Formas Livres no Brasil. Cosac & Naify, São Paulo, SP, 2003. p. 95.

¹¹ Ver LATORRACA, G. João Filgueiras Lima Lelé. São Paulo: Editora Blau - Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, 1999. p. 19

de Lelé, deriva principalmente da tecnologia de pré-moldagem parcial empregadas em sua construção, utilizando peças estruturais leves que puderam ser executadas com maquinário existente na época. A primeira proposta do curso de arquitetura da UnB objetivava criar na cidade um centro nacional de pesquisa, e esses edifícios, por suas características, representavam bem a intenção de pesquisa e prospecção presentes nesse projeto.¹²

Durante as obras da Colina, o então Presidente do Brasil, João Goulart, visitou as obras do conjunto arquitetônico da Colina, acompanhado de demais autoridades. Na figura 5, ilustra-se o momento desta visita, com o Presidente ao centro da imagem. Logo ao seu lado esquerdo – encontra-se o engenheiro Ernesto Walter e, mais à direita da imagem, está Darcy Ribeiro – apontando para um dos modelos de esquadria, que provavelmente foram utilizados na edificação.



Figura 5 – Visita do Presidente João Goulart as obras do conjunto arquitetônico da Colina com demais autoridades. Fonte: Januzzi. Brasília-DF. Christiani Nielsen S/A. Foto cedida pelo arquiteto João Walter

Após quase um ano da Instauração do Golpe Militar de 1964, houve a demissão coletiva de diversos professores, inclusive dos profissionais que

¹² Ver SCHLEE, A. R. et al. Registro Arquitetônico da Universidade de Brasília. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2014 p. 46.

compunham o corpo técnico do CEPLAN, o que acaba interrompendo o processo construtivo do complexo predial da UnB e com as experiências acadêmico-construtivas em pré-moldados, gerando uma série de obras inacabadas. O órgão de assessoria técnica só vai retomar suas atividades em 1969, com a conclusão de projetos iniciados entre os anos de 1963-1964.

Entre obras acabadas e inacabadas, durante a experiência com pré-moldados, entre os anos de 1962 e 1972, o corpo técnico do CEPLAN foi responsável pela construção de 16 edifícios que fizeram o uso integral ou parcial de métodos relacionados à construção racionalizada. Vale ressaltar que nesses, 10 anos de experimentação, foram executados aproximadamente 171.757 m² de área construída, onde somente o ICC representa 68% deste valor.

3. ARQUITETURA DOS BLOCOS

A disposição do conjunto arquitetônico da Colina Velha é composta por quatro edificações com acessos independentes, formando ramos conectados ao sistema viário. Os blocos A e D, possuem quatro prumadas, seis unidades habitacionais por andar e uma área construída de aproximadamente 4.204m²; já os Blocos B e C, a quantidade de prumadas e de unidades é a mesma dos blocos citados anteriormente, mas estão dispostos em uma área construída de aproximadamente 2.699m² (Figura 6).

Segundo o programa de necessidades, o edifício abriga, em sua base, áreas de estar, estacionamentos e áreas técnicas. No pavimento tipo estão as unidades habitacionais, estas variam de dimensão conforme cada tipologia de apartamento (Tipo I: 144m², Tipo II: 108m² e Tipo III: 84m²). Vale ressaltar, que os apartamentos do Tipo I estão dispostos nos Blocos A e D, e os de Tipo II e III, nos Blocos B e C. A compartimentação interna dos apartamentos é bastante flexível, com a separação de ambientes feita por meio de divisórias e armários.

O programa está disposto em dois tipos de edifícios, de planta retangular nas dimensões: 12x89,5 metros (A e D), 12x69,5 metros (B e C). Ambos edifícios estão elevados sob pilotis com duas linhas de pilares moduladas a cada 13 e 15 metros. Com relação à orientação solar, todos os blocos estão dispostos em norte-sul no sentido longitudinal. As aberturas voltadas para Leste direcionam as vistas dos quartos e salas para o Lago Paranoá. A oeste, estão as fachadas de serviços e de maior incidência solar, são compostas por painéis de cobogós.

Tema 1: Estruturas e Arquitetura

III - Caracterização dos Blocos de Apartamento da Colina Velha na Universidade de Brasília: História, Arquitetura, Pré-moldado, Sistemas Estruturais e Patologias



Figura 6 – Desenhos técnicos dos tipos de blocos do conjunto arquitetônico da Colina Velha.
Fonte: Desenvolvido pelo autor

Ao avaliar os elementos arquitetônicos e formais do conjunto da Colina, é quase impossível não citar os elementos pré-moldados, pois o edifício assinado por Lelé, partiu de uma premissa que norteou os partidos arquitetônicos dos primeiros edifícios industrializados do *campus*, valorizando a capacidade de flexibilidade das compartimentações internas, em edifícios modulados, de formas austeras e que simplificassem o processo de projeto.

A experiência da UnB foi significativa para a trajetória profissional de Lelé, durante a sua trajetória no CEPLAN teve autonomia e a oportunidade de trabalhar nos primeiros projetos de sua autoria. Sobre a experiência na UnB, o arquiteto destaca:

Na Universidade, eu fazia muita questão de mostrar os projetos em que estava trabalhando. Quando Oscar estava viajando, eu fiz o projeto do Galpão de Serviços Gerais e o da Colina. No da Colina, eu me senti meio desamparado, porque não podia mostrar o projeto para o Oscar. Aí, em uma ocasião em que fui ao Rio tratar com o Dr. Lúcio de questões de urbanismo do setor residencial.¹³

Com relação ao sistema construtivo adotado, os conjuntos de circulação vertical – fundidos *in loco* – eram os núcleos responsáveis pelo contraventamento e rigidez da construção. Os elementos que suportam as estruturas pré-moldadas constam de vigas com seção retangular dupla protendidas com massa total de treze toneladas, formando conjuntos rotulados do tipo *Gerber*. Os vãos formados variam de 13 a 15 metros, neles, apoiam-se as lajes nervuradas também protendidas, que constituem os pisos dos apartamentos (Figura 7). As instalações elétricas e hidráulicas alojam-se aparentes na alma da viga de seção retangular dupla (Figura 8).¹⁴

É importante salientar que o sistema construtivo do conjunto da Colina é inteiramente antagônico ao que se vinha praticando na Europa, que utilizava painéis portantes de vedação. O sistema “Camus”, citado por Lelé como sendo padrão na União Soviética e no Leste Europeu, não oferecia a flexibilidade desejada para os espaços. Todas as divisões internas têm como base o módulo

¹³ Ver LATORRACA, G. João Filgueiras Lima Lelé. São Paulo: Editora Blau - Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, 1999. p. 19

¹⁴ Ver ACRÓPOLE, R. A estrutura da Universidade de Brasília. Revista Acrópole, São Paulo, p. 13-45, janeiro 1970.

de um metro, utilizado como diretriz de projeto. Este módulo orienta a distância entre as vigotas das lajes, os painéis de fechamento das empenas e a divisão dos módulos de esquadrias – facilitando, assim, o posicionamento das divisórias.¹⁵

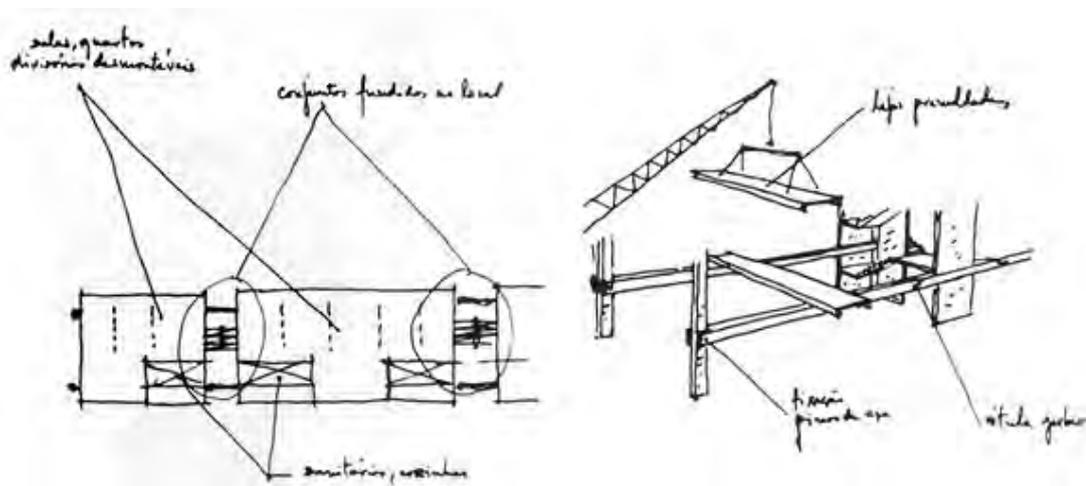


Figura 7 – Croqui ilustrativo do processo de montagem feito por Lele Font: ACRÓPOLE, 1970

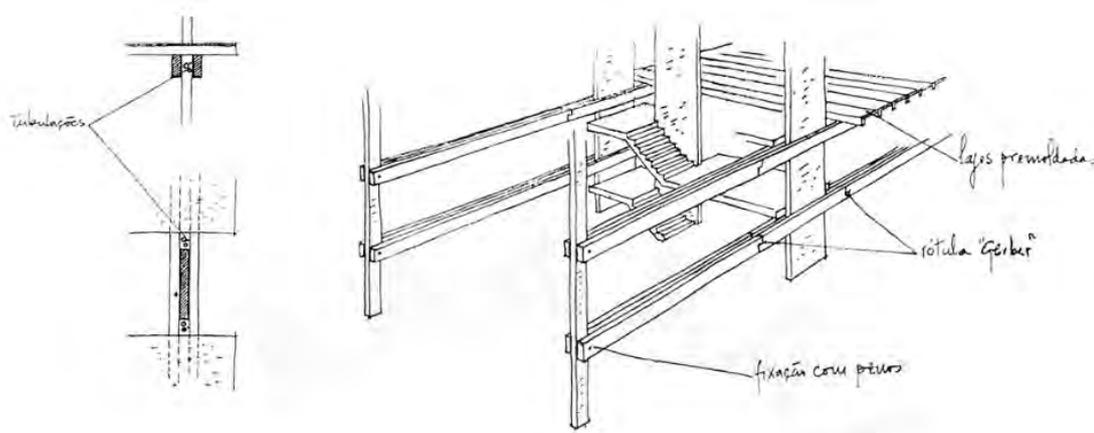


Figura 8 – Croqui ilustrativo da seção da estrutura e seus elementos estruturais feito por Lele. Fonte: ACRÓPOLE, 1970

Uma característica do conjunto é a capacidade de replicação do sistema construtivo adotado. Apesar da variação dimensional dos edifícios. Esta lógica também foi aplicada em outras construções, como: os Galpões de Serviços

¹⁵ Ver VASCONCELLOS, J. C. D. Crusp e colina: modulação e construção em dois conjuntos residenciais pré-moldados. Seminário do.co.,o.mo_sul, Porto Alegre, Julho 2016. ISSN 978-85-61965-40-2.

Gerais e o Conjunto Arquitetônico de Serviços Gerais. É interessante frisar, que esta busca por modularidade, além de ser um instrumento que facilite a produção em série de determinados elementos construtivos, também faz parte da premissa de simplificação do processo projetual.

4. ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS

Apesar de grande parte dos elementos construtivos serem desenvolvidos em função da pré-fabricação, não se abriu mão do sistema convencional, onde as caixas de escadas foram moldadas *in loco* (Figura 9), visando a estabilidade e o contraventamento do edifício. Neste ponto da edificação, os pilares possuem uma seção de aproximadamente 0,30x2,00 metros, além disso, as esperas são compostas por uma viga em concreto protendido, com seção dupla (0,25x0,65m), com cinco metros de comprimento.



Figura 9 – Construção do Bloco A do conjunto arquitetônico da Colina. Destaque para a produção das vigas no canteiro Fonte: UnB Agência

Além das caixas de escada, os pilares – de seção 0,30x0,50m – também foram moldados no local, que junto com as vigas de espera do núcleo rígido, recebem a viga dupla longitudinal – pré-fabricada – com um peso próprio de aproximadamente 13 toneladas. O sistema estrutural se completa com as lajes nervuradas – composta por uma laje de piso de sete centímetros de espessura, associada com uma viga protendida, com aproximadamente. 0,10x0,30m de

seção. Com relação ao tipo de sistema construtivo, utilizado em cada elemento do conjunto da Colina, Pessina (1964) destaca:

(...) somente os apoios verticais – pilares e caixas de escada – espaçados aproximadamente de 15 metros, são moldados in situ. Vigas duplas longitudinais pré-fabricadas montadas sobre estes apoios, suportam as lajes nervuradas de cada andar. Os elementos de fachada – cobogós e esquadrias externas – e as paredes das instalações sanitárias e das cozinhas são pré-fabricadas em grandes painéis de concreto. As empenas laterais e as paredes divisórias entre apartamentos são formadas por blocos ocios de concreto pré-fabricado da altura de um andar. As demais divisões são em painéis de material leve. Marcos de porta e rodapés de madeira, especialmente estudados, permitem a passagem em seu interior das instalações elétricas. As instalações hidráulicas correm livremente sob as lajes de piso e, como as elétricas, independem das paredes. Ambas se ligam à rede geral do prédio por meio das vigas duplas longitudinais. A solução dada às instalações, aliada à solução estrutural, possibilita divisões variadas e torna fácil qualquer modificação face a futuras necessidades.¹⁶

As vigas longitudinais duplas foram ancoradas nos pilares e modulados junto ao núcleo de circulação vertical a cada 15 metros. Esta ancoragem foi feita por meio de um pino de aço (Figura 11). A utilização do pino, no engaste das vigas duplas dos pilares, locados nas extremidades do conjunto reforça a analogia de um sistema estrutural em madeira, seguindo uma lógica de encaixe¹⁷. Sobre a utilização dos pinos, vale ressaltar o depoimento do próprio Lelé quanto à solução:

[...] esses pinos de aço foram testados e foram feitas radiografias de cada um. Não é brincadeira. Eu perguntei ao Darcy se ele confiava na radiografia e ele me respondeu – “mas como é que a gente vai fazer, ou a gente confia ou então...” [...]¹⁸

Na Figura 10, destaca-se os elementos estruturais que compõem o sistema

¹⁶ Ver PESSINA, L. H. Aspectos gerais da pré-fabricação. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo. UnB. Brasília, p. 475. 1964. p.28-29

¹⁷ Ver VASCONCELLOS, J. C. D. Crusp e colina: modulação e construção em dois conjuntos residenciais pré-moldados. Seminário do.co.,o.mo_sul, Porto Alegre, Julho 2016. ISSN 978-85-61965-40-2.

¹⁸ Ver GUIMARÃES, C. et al. Arquitetura brasileira após Brasília/depoimentos. Edgar Graeff, Flávio Marinho Rêgo, Joaquim Guedes, João Filgueiras Lima. Rio de Janeiro: IAB p Instituto dos Arquitetos do Brasil, 197

dos blocos da Colina.

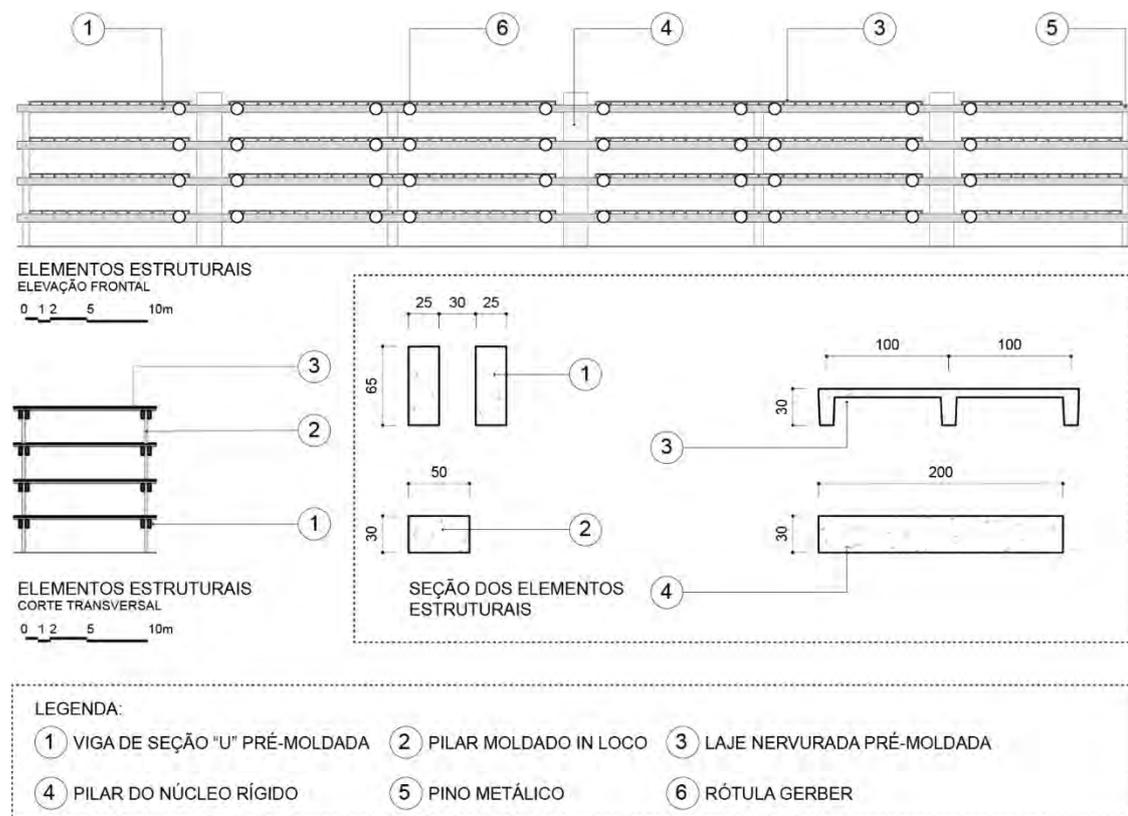


Figura 10 – Elementos estruturais e dimensões. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 11 – Pino de aço. Fonte: Acervo do autor

A solução adotada nas extremidades do conjunto implicou na necessidade de enrijecer os núcleos de circulação vertical para trazer estabilidade e contraventamento à estrutura, para evitar o efeito “baralho de cartas”, já que nas

empenas não possuem elementos estruturais.¹⁹

O material utilizado na paras as fôrmas foi o *Madeirit*. Para a produção das vigas longitudinais e das lajes nervuradas de piso, ambos os elementos de concreto protendido, utilizou-se fôrmas fixas ao nível do solo. Os demais elementos, de menor porte – paredes internas, painéis de fachada, lajes planas de piso, cobogós, blocos de empena e divisórias – foram moldados sobre plataforma horizontais, executados com o *Madeirit* restante das concretagens *in situ*.²⁰

A modulação das lajes nervuradas foi importante na definição dos elementos de vedação, além de nortear a compartimentação interna. Esta razão – de metro em metro – foi utilizada em diversos conjuntos arquitetônicos daquele contexto, como os SG's (SG 1, 2, 4, 8 e 10); além de guiar a locação dos demais elementos construtivos, como painéis, esquadrias e cobogós.

As lajes e as vigas duplas foram pré-moldadas e protendidas em fábrica montada no canteiro de obras, seguindo um processo semelhante ao ciclo de pré-fabricação fechada, mas que permitia certa flexibilidade, resultando em blocos com os mesmos componentes, mas que possuem características dimensionais distintas. Com a disponibilidade do espaço, foi possível realizar a concretagem e a protensão bem próximas ao local definitivo dos elementos fabricados (Figura 12).

Com a montagem do “esqueleto”, foram inseridos os componentes de vedação, também, pré-moldados (Figura 13). Nas fachadas orientadas para leste foram locados os módulos de esquadrias; a oeste os módulos de cobogós; e, a norte e sul, foram locados os painéis cegos das empenas (Figura 14).

Dentre os elementos pré-moldados, somente nos Blocos A e D foram utilizados cerca de 144 módulos de esquadria, 144 módulos de cobogós, 640 módulos de lajes nervuradas e 96 módulos de vigas duplas protendidas, dando forma a edifícios racionais, onde a estrutura está em grande destaque e compõe grande parte da massa visual da edificação.

¹⁹ Ver VASCONCELLOS, J. C. D. Crusp e colina: modulação e construção em dois conjuntos residenciais pré-moldados. Seminário do.co.,o.mo_sul, Porto Alegre, Julho 2016. ISSN 978-85-61965-40-2.

²⁰ Ver PESSINA, L. H. Aspectos gerais da pré-fabricação. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo. UnB. Brasília, p. 475. 1964. p.28-29

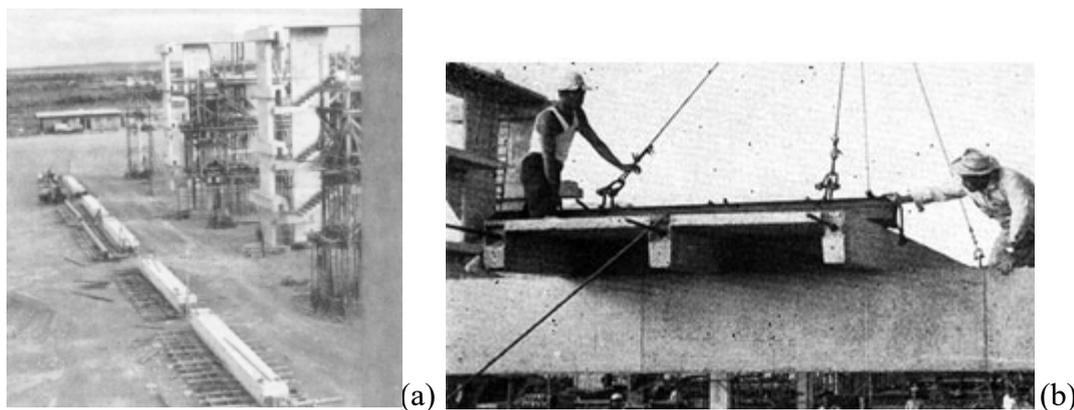


Figura 12 – Construção da Colina: (a) protensão das vigas duplas longitudinais (b) içamento das lajes nervuradas. Fonte: ACRÓPOLE, 1970



Figura 13 – Início da montagem do terceiro pavimento. Destaque para os painéis da empena, preenchem o vazio do esqueleto. Fonte: PESSINA, 1964

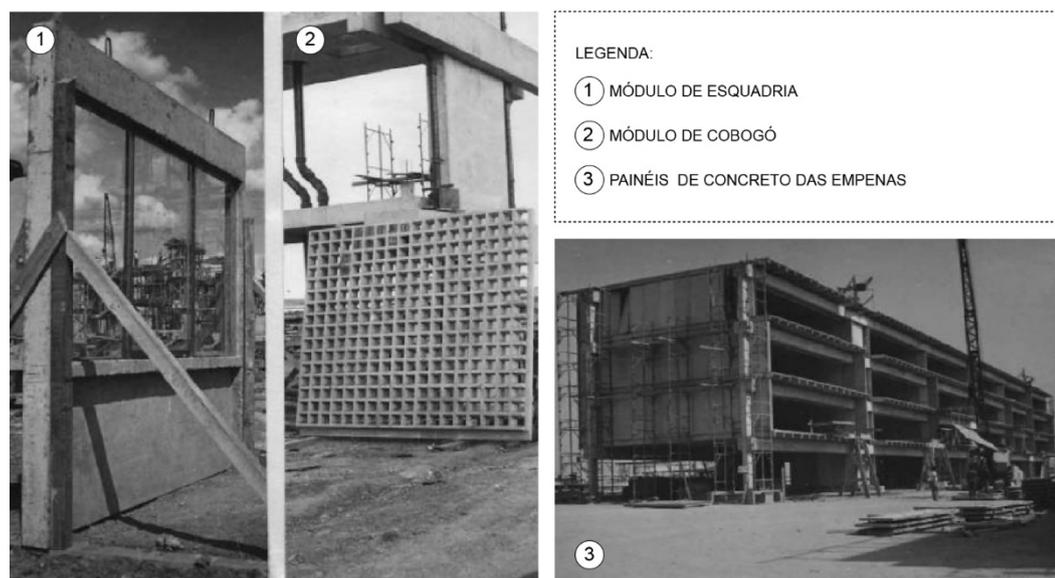


Figura 14 – Elementos de vedação Fonte: PESSINA, 1964

5. ANÁLISE ESTRUTURAL

No conjunto de uma estrutura, o equilíbrio é a propriedade que se deseja

alcançar para se vencer diferentes tipos de carga, onde o equilíbrio estático, é o tipo que interessa as edificações, devendo permanecer estável durante toda a sua vida útil. Para uma estrutura permanecer em equilíbrio, a mesma deve ter suas seções corretamente dimensionadas e seus vínculos devidamente projetados. Portanto, para se alcançar a devida propriedade, um sistema estrutural deve atender tanto sua condição externa, por meio do equilíbrio de seus vínculos, como internamente, pelo equilíbrio das forças internas dentro de suas seções.²¹

Por conseguinte, a compreensão das condições de equilíbrio é de grande valia para embasar a análise estrutural e viabilizar a leitura dos diagramas gerados pelas ferramentas computacionais, para compreender a capacidade de equilíbrio da estrutura do conjunto arquitetônico da Colina. Neste tópico, toda informação técnica levantada referente ao edifício em análise, foi lançada em programas computacionais (SAP 2000 e Ftool) para geração de diagramas que possibilitem avaliar diversos aspectos das estruturas, mas em especial, a propriedade de equilíbrio.

Vale ressaltar, que foi levado em consideração a disponibilidade de informações, pois, como supracitado nesta pesquisa, há uma grande dificuldade e carência de fontes oficiais, cálculos e detalhamentos de obras que datam dos anos iniciais da construção de Brasília e conseqüentemente nas primeiras obras da UnB. Portanto, este trabalho levantou as informações capazes de proporcionar uma análise qualitativa, dos sistemas de estruturas pré-moldados e sua relação com a arquitetura industrializada desenvolvida no começo dos anos de 1960.

Para as modelagens, foi considerado os Blocos A e D, que representam os edifícios de maior área construída e, conseqüentemente, os que possuem os maiores vãos, ou seja, as situações em que se demanda um maior desempenho por parte do sistema. As dimensões dos elementos estruturais do estudo de caso em questão, foram coletadas por meio de: levantamento dimensional *in loco* dos elementos arquitetônicos e estruturais e revisão bibliográfica realizada em pesquisas acadêmicas, livros e periódicos, especialmente a edição 369 de 1970 da Revista Acrópole.

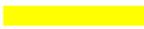
²¹ Ver REBELLO, Y. C. P. A concepção estrutural e a arquitetura. São Paulo: Zigurate, 2000. p. 42-49

Por meio das orientações da NBR 6120/19 (ABNT, 2019), para projeto de estruturas em concreto armado, foram aplicados e gerados pelo programa SAP 2000, os seguintes dados (Tabela 2):

DADOS LANÇADOS/GERADOS NO PROGRAMA SAP 2000 v21		
CARGAS	NOMECLATURA	VALOR
Carregamento nas lajes da cobertura	LIVE - L	100 Kgf/m ²
Carregamento acidental	LIVE - L	200 Kgf/m ²
Carga permanente	DEAD - D	-
COMBINAÇÕES	NOMECLATURA	FÓRMULA
Estado Limite de Serviço	ELS	1,0D + 1,0L
Estado Limite Último	ELU	1,4D + 1,4L

Tabela 2 – Dados lançados ou gerados pelo programa SAP 2000 v21. Fonte: Desenvolvido pelo autor

Na Tabela 3, foram descritos os elementos e dimensões dos componentes estruturais para o modelo estrutural (Figura 15) desenvolvido no software SAP 2000 v21. No programa, foram utilizados três elementos, sendo as barras (*frames*) – para os pilares, parafusos e vigas, além dos vínculos (*joints*) – para os vínculos dos pilares – e placas (*shells*) para as lajes, que resultou em uma modelagem composta por 2000 frames, 12 *joints* e 2600 elementos que compõem as *areas shells*. As lajes nervuradas foram separadas em dois elementos de modelagem, sendo as vigas transversais (10x30cm) e as lajes com uma espessura de 7 cm.

ELEMENTOS ESTRUTURAIS DOS BLOCOS “A” E “D” DA COLINA			
ELEMENTO	A (m)	B (m)	COR
1 – Pilar pré-moldado	0,50	0,30	
2 – Pilar moldado <i>in loco</i>	2,00	0,30	
3 – Vigas dupla longitudinal	0,65	0,25	
4 – Viga transversal	0,30	0,10	
5 – Laje	0,07	-	
6 – Parafuso (Circular)	0,07	0,07	

A: Altura das vigas e lado maior da seção dos Pilares **B:** Base das vigas e lado menor dos pilares

Tabela 3 – Dimensões da estrutura do Bloco A e D da Colina, levantadas para análise estrutural e lançadas no modelo desenvolvido no programa SAP 2000 v21. Fonte: Desenvolvido pelo autor

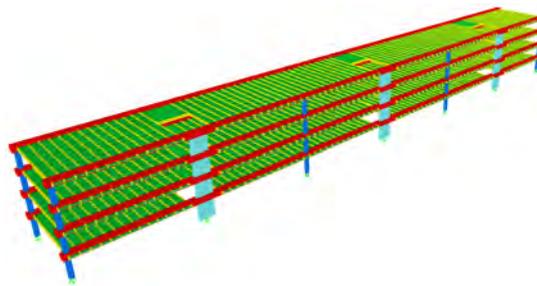


Figura 15 – Modelo estrutural do Bloco A e D da Colina. Fonte: Desenvolvido pelo autor, Programa SAP 2000

Para análise estrutural dos Blocos A e D do conjunto arquitetônico da Colina, foram verificados os diagramas de deslocamento e esforços normais, gerados, também, a partir do programa SAP 2000 v21. Neste conjunto, a pesquisa deu ênfase ao sistema de vigas duplas longitudinais, buscando avaliar o equilíbrio dos esforços de momento fletor, em razão das rótulas *gerber*, utilizando o programa Ftool como ferramenta auxiliar a análise.

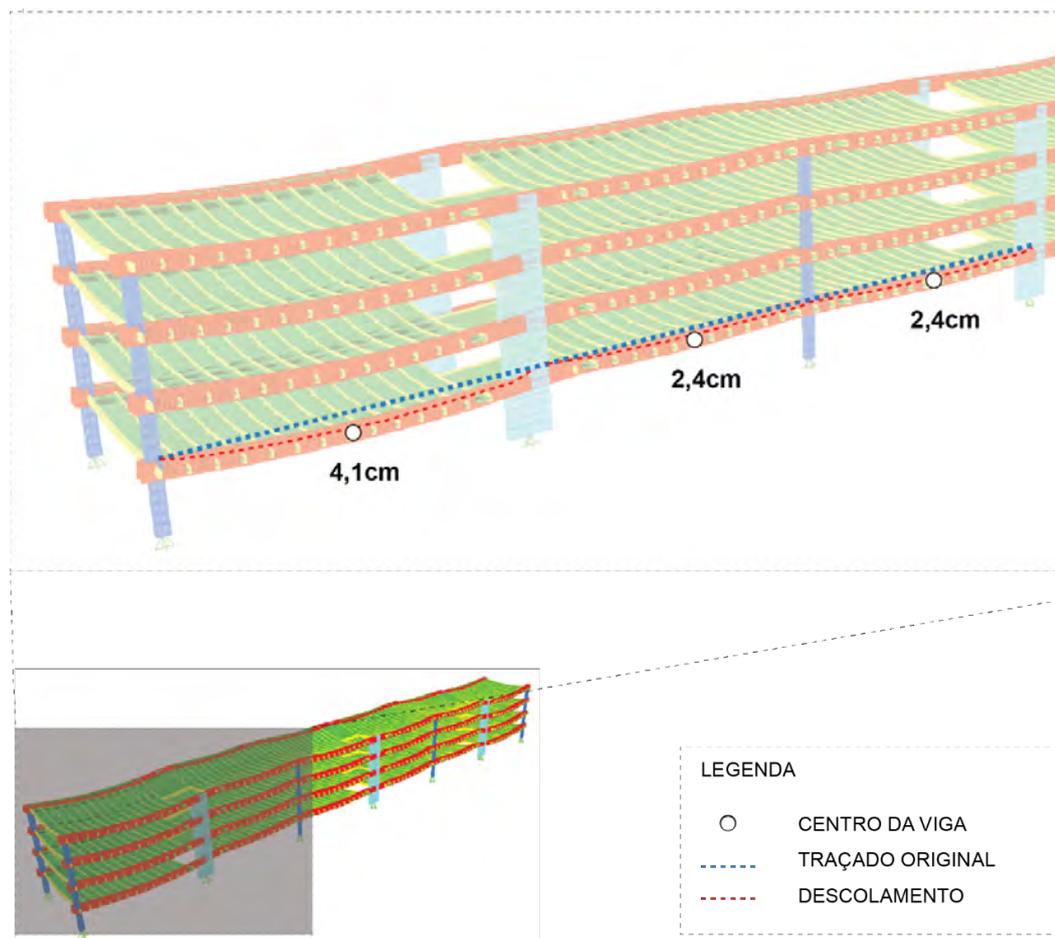


Figura 16 – Diagrama de deslocamentos da viga longitudinal. Fonte: Desenvolvido pelo autor, Programa SAP 2000

Na Figura 16, destaca-se o deslocamento (flecha imediata) na viga

longitudinal no arrojto estrutural do edifício. A situação se repete nos demais vãos. Vale ressaltar que, na análise dos deslocamentos, foi utilizado o ELS.

A edificação projetada nos anos de 1960 atente os deslocamentos admissíveis das normas vigentes (ABNT NBR 6118/2014), como exposto na Equação 1. Apesar do conjunto de vigas apresentarem vãos com as mesmas dimensões, os da extremidade representam quase o dobro do deslocamento, em comparação aos demais. Isso se dá devido ao posicionamento das rótulas, que encurta os vãos centrais em cinco metros.

$$F_{adm} \frac{L}{250} = \frac{12,5}{250} = 0,05m \text{ ou } 5cm$$

Equação 1 – Deslocamento admissível, conforme a NBR 6118/2014

A Figura 17, destaca-se as cargas nos pilares. Os núcleos rígidos (Circulação vertical), devido ao seu papel de equilibrar e proporcionar o contraventamento do sistema estrutural, são os trechos em que apresentam-se os maiores esforços internos – com carga de aproximadamente 363 tf – também estando dentro dos padrões de admissibilidade às normas atuais, onde a tensão no núcleo é de aproximadamente 6,05 Mpa.



Figura 17 – Diagrama de esforços normais nos pilares do Bloco A e D. Fonte: Desenvolvido pelo autor, Programa SAP 2000

Os pilares de menor seção – especialmente os locados entre os núcleos rígidos – apresentam as maiores tensões no arrojto estrutural, sendo os da extremidade, 10,17 Mpa, e os centrais 21,09 Mpa.

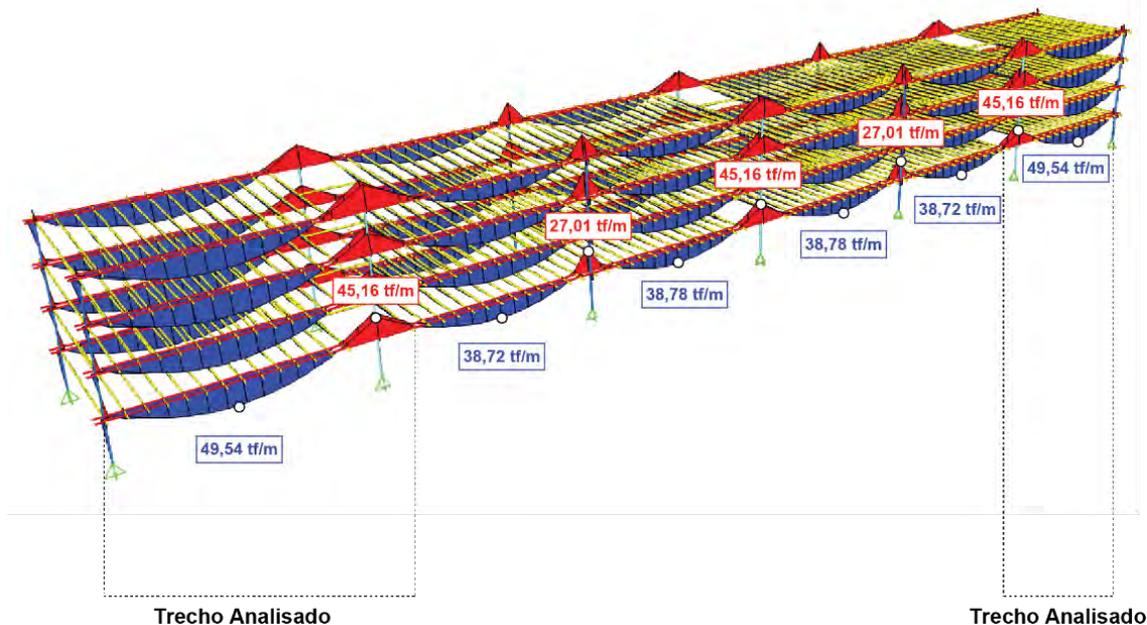


Figura 18 – Diagrama de momento fletor nas vigas longitudinais do Bloco A e D. Fonte: Desenvolvido pelo autor, Programa SAP 2000

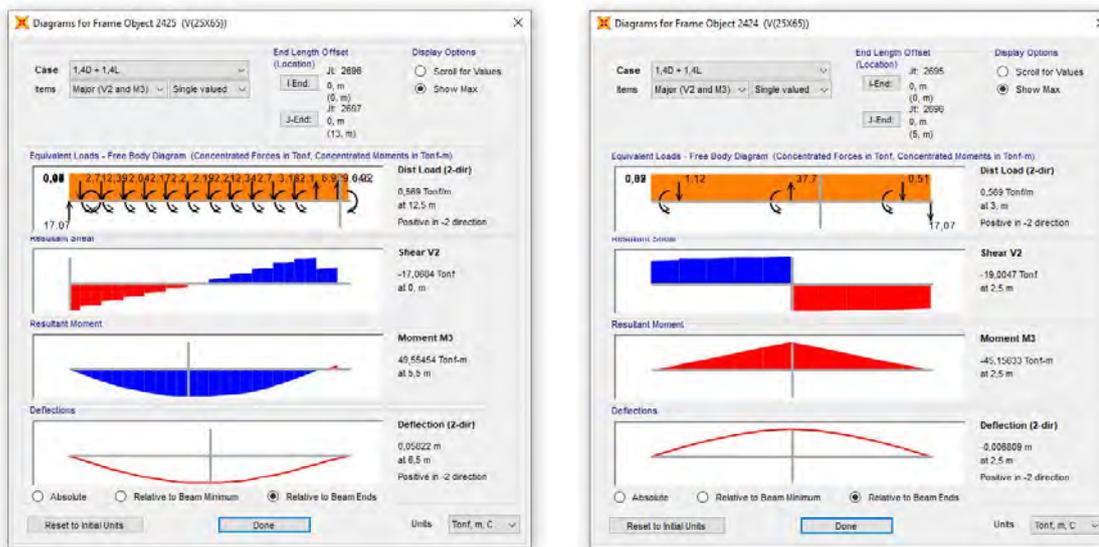


Figura 19 – Trecho de 12,5 metros e 5 metros. Diagramas gerados da viga longitudinal. Fonte: Desenvolvido pelo autor, Programa SAP 2000

No diagrama tridimensional de momentos fletores (Figura 18), os pontos críticos estão nos trechos da extremidade, com esforços positivos de 49,54 tf/m, sendo o ponto de maior deslocamento do sistema estrutural.

Nos trechos de viga dos núcleos rígidos e nos pilares de menor seção nos vãos centrais, estão localizados os esforços de momento negativos mais críticos, com valores de aproximadamente 45,16 tf/m.

Na Figura 19, estão em destaque: as reações, os gráficos de esforço

cortante, momento fletor e deslocamentos do ponto analisado. Vale ressaltar, que o devido trecho representa um vão de 15 metros, totalizando 17,5 metros com a viga de espera, onde há três tipos de vínculos, sendo: 12,5 metros da viga (pré-moldada), engastada por meio do pino de aço e a outra ponta, apoiada do dente *Gerber*, o outro vínculo, seria o ponto de apoio entre a viga de espera (com cinco metro de comprimento) e o pilar (com seção de 0,30x2,00 metros) do núcleo rígido. Na Figura 20, destaca-se a situação real dos trechos analisados, sendo possível identificar os vínculos supracitados.

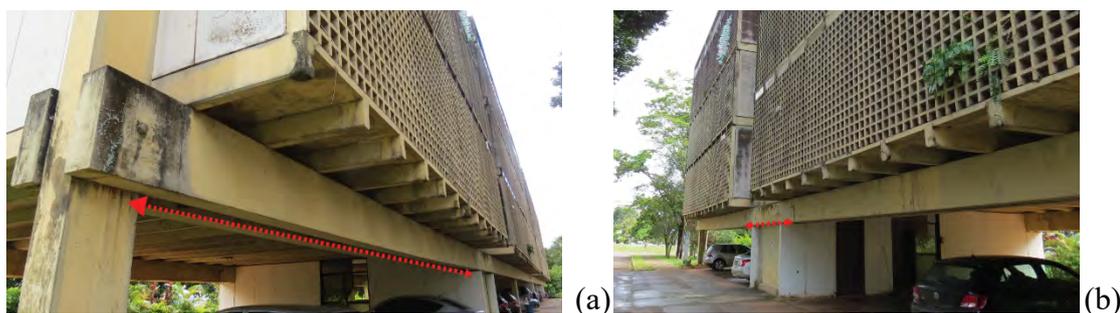


Figura 20 – Trecho de 12,5 metros (a) e 5 metros (b). Fonte: Acervo do autor

Para compreender a importância do sistema de rótulas no arrojto estrutural do conjunto arquitetônico da Colina, foi simulado, no programa Ftool os apoios e o vrigamento longitudinal, sendo os dados lançados no programa destacados na Tabela 4.

DADOS LANÇADOS NO PROGRAMA FTOOL

DADOS	VALOR
Carregamento nas lajes da cobertura	100 Kgf/m ²
Carregamento acidental	200 Kgf/m ²
Carga distribuída na cobertura	3,96 tf/m
Carga distribuída no pavimento tipo	4,56 tf/m
Resistência específica do concreto	250 Kgf/cm ³
COMBINAÇÕES	FÓRMULA
Estado Limite Último	1,4D + 1,4L

Tabela 4 – Dados lançados ou gerados pelo programa SAP 2000 v21. Fonte: Desenvolvido pelo autor

Os diagramas da Figura 21 representam o sistema estrutural sem as rótulas *Gerber*, O conjunto é composto, também, por uma estrutura isostática e biapoiada em vãos de 15 metros de comprimento. Vale ressaltar que a

modulação dos pilares e suas dimensões foram mantidas e consideradas.

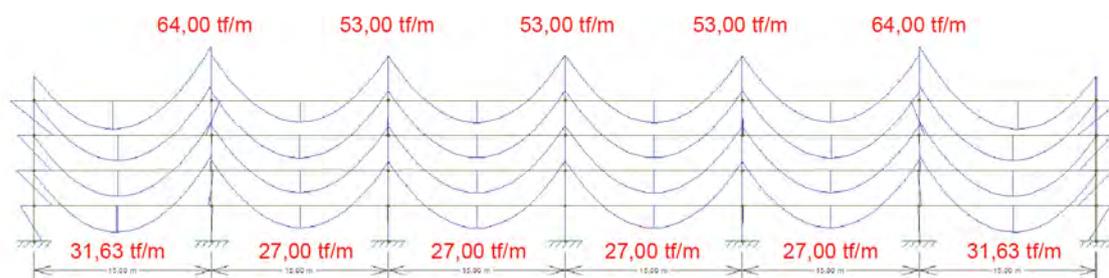


DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR | SEM RÓTULAS GERBER

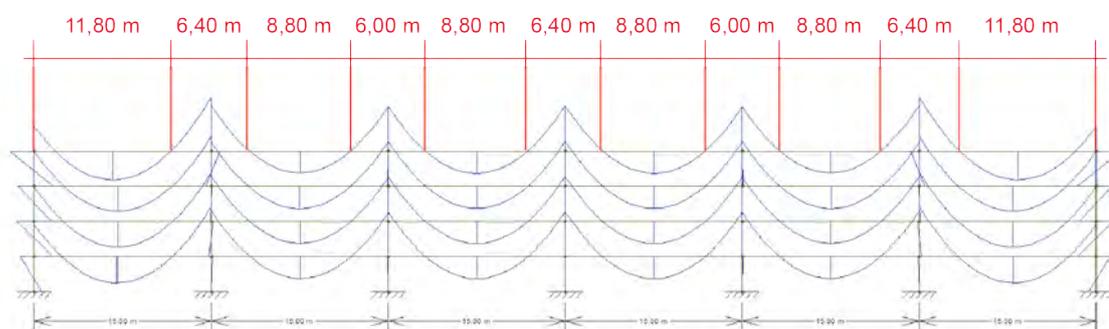


DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR | TRANSIÇÃO DOS MOMENTOS

Figura 21 – Diagramas de e momento fletor. Fonte: Desenvolvido pelo autor, Programa Ftool

É interessante notar que, ao dimensionar os pontos de transição dos esforços de momento fletor da Figura 21, assemelham-se ao posicionamento das rótulas na situação existente, com variações de 1,40 a 3 metros. A partir desta perspectiva, comparar o posicionamento das rótulas, possibilitou avaliar o equilíbrio estático interno do vigamento isostático longitudinal, que desempenha um papel fundamental na sustentação dos demais elementos da edificação.

Para se obter mais parâmetros, optou-se em simular no programa Ftool, quatro variações, alterando o posicionamento das rótulas (Figura 22), onde: (a) é equivalente a situação atual, (b) considera um sistema estrutural sem o sistema de rótulas, (c) varia o posicionamento das rótulas, conforme as dimensões levantadas na Figura 21 e (d) o vigamento da situação atual, mas variando a extensão das vigas locadas nos núcleos rígidos, substituindo de cinco metros para dois metros, sendo o mesmo comprimento da seção do pilar. Vale ressaltar, que a alteração das rótulas na presente análise, não alterou a forma da edificação, pois a busca pelo entendimento do equilíbrio interno, nesta situação, não condicionou em uma variação da forma arquitetônica.

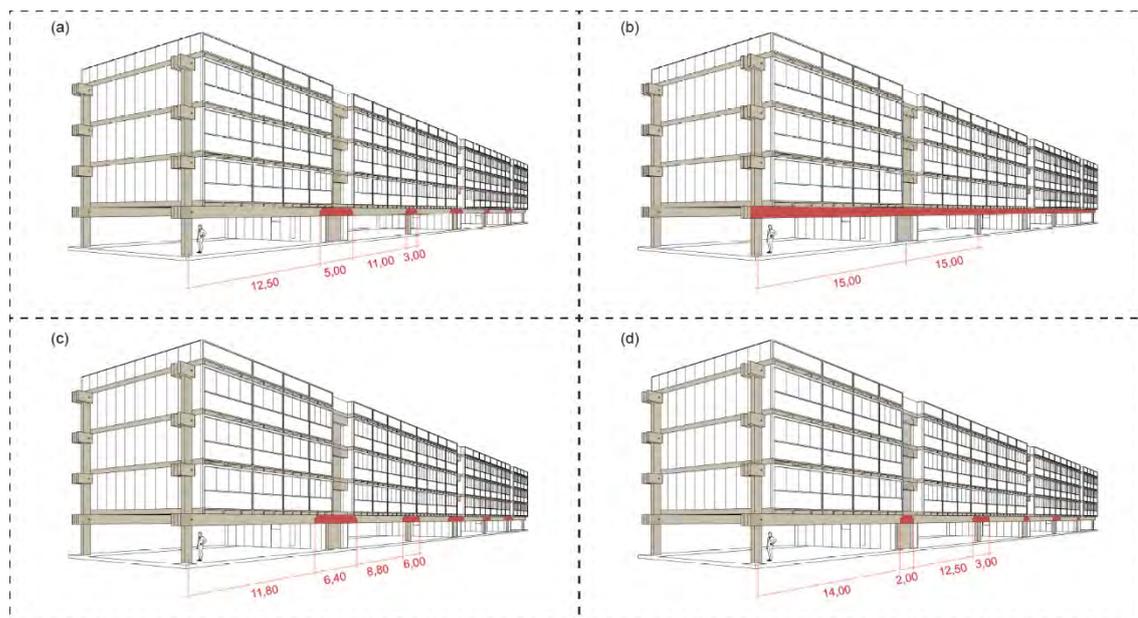


Figura 22 – Variação das rótulas. Fonte: Desenvolvido pelo autor

Na comparação dos diagramas dessas quatro situações, foi observado que as rótulas possuem um papel importante no equilíbrio dos esforços internos na viga principal do archo estrutural. Vale destacar a solução em si, que permite com que a viga seja contínua, de forma isostática, fazendo com que o sistema entre em equilíbrio externo, por meio das juntas de separação, fazendo com que as vigas de estabilidade própria – as que são centralizadas com os pilares – se conectem com os trechos de viga sem estabilidade, sendo uma solução bastante comum em pontes e viadutos de grandes vãos.

Na Figura 23, destacam-se os diagramas de momento fletor, com base nas situações levantadas na Figura 22 e, percebe-se que a situação (a) – referente ao que foi executado – apresenta um melhor equilíbrio entre os esforços internos nos vãos das extremidades, com momento positivo girando entorno de 44,56 tf/m e, negativo por volta de 42,75 tf/m. Nas situações (b) e (c), os esforços internos negativos são os mais potencializados com a variação das rótulas ou com a ausência destas (situação b).

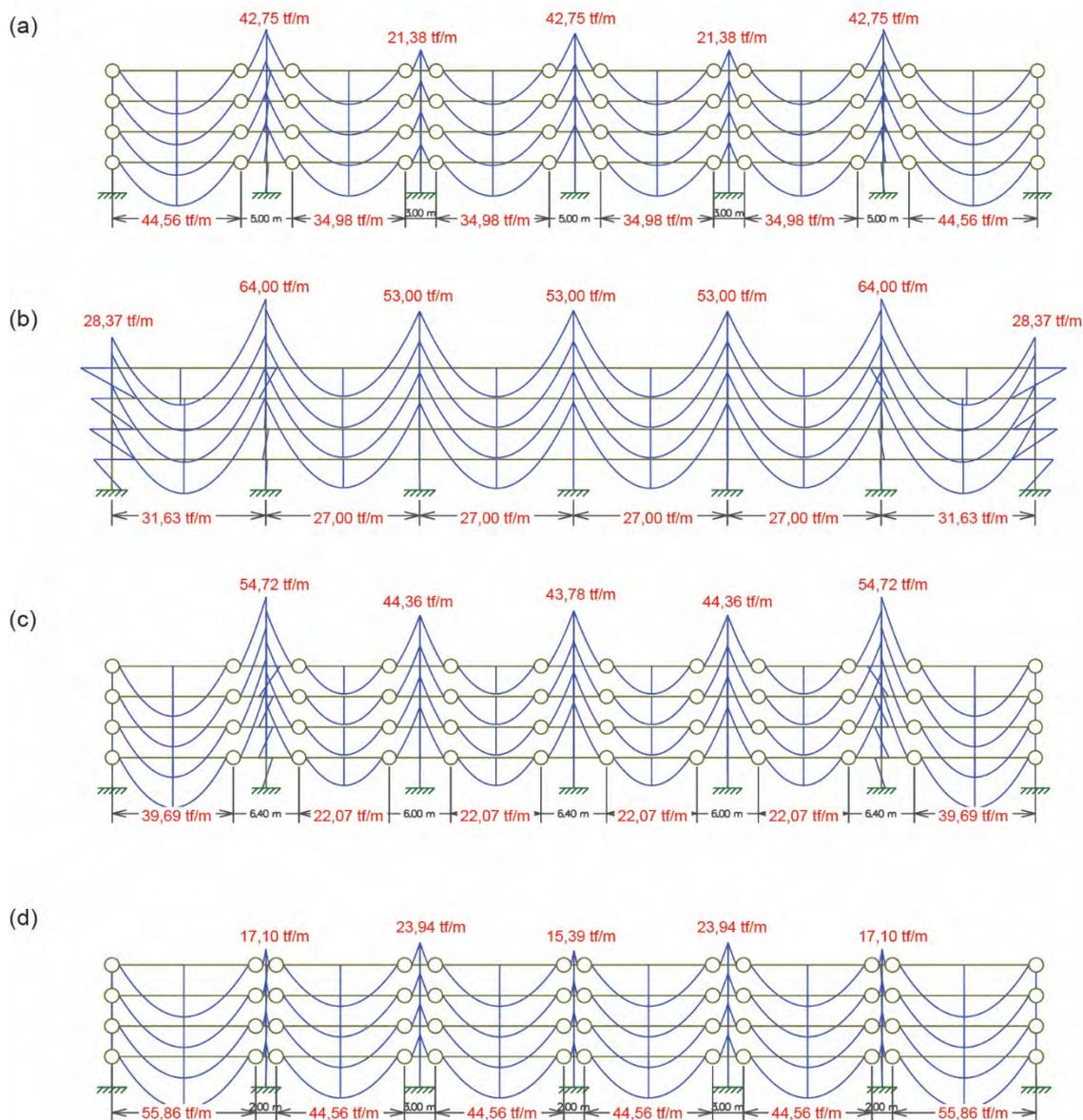


Figura 23 – Diagramas de momento fletor. Fonte: Desenvolvido pelo autor, Programa Ftool

Na situação (d) da Figura 23, vale destacar a redução nos esforços de momento fletor negativo, nos trechos em que a viga no núcleo rígido foi reduzida para dois metros de comprimento, entretanto, esta ação contribui para o aumento do vão das extremidades, acarretando em um esforço interno positivo, bastante elevado, quando comparado à situação (a).

Na Figura 24, destacam-se os diagramas de deslocamento, com base nas situações levantadas na Figura 22.

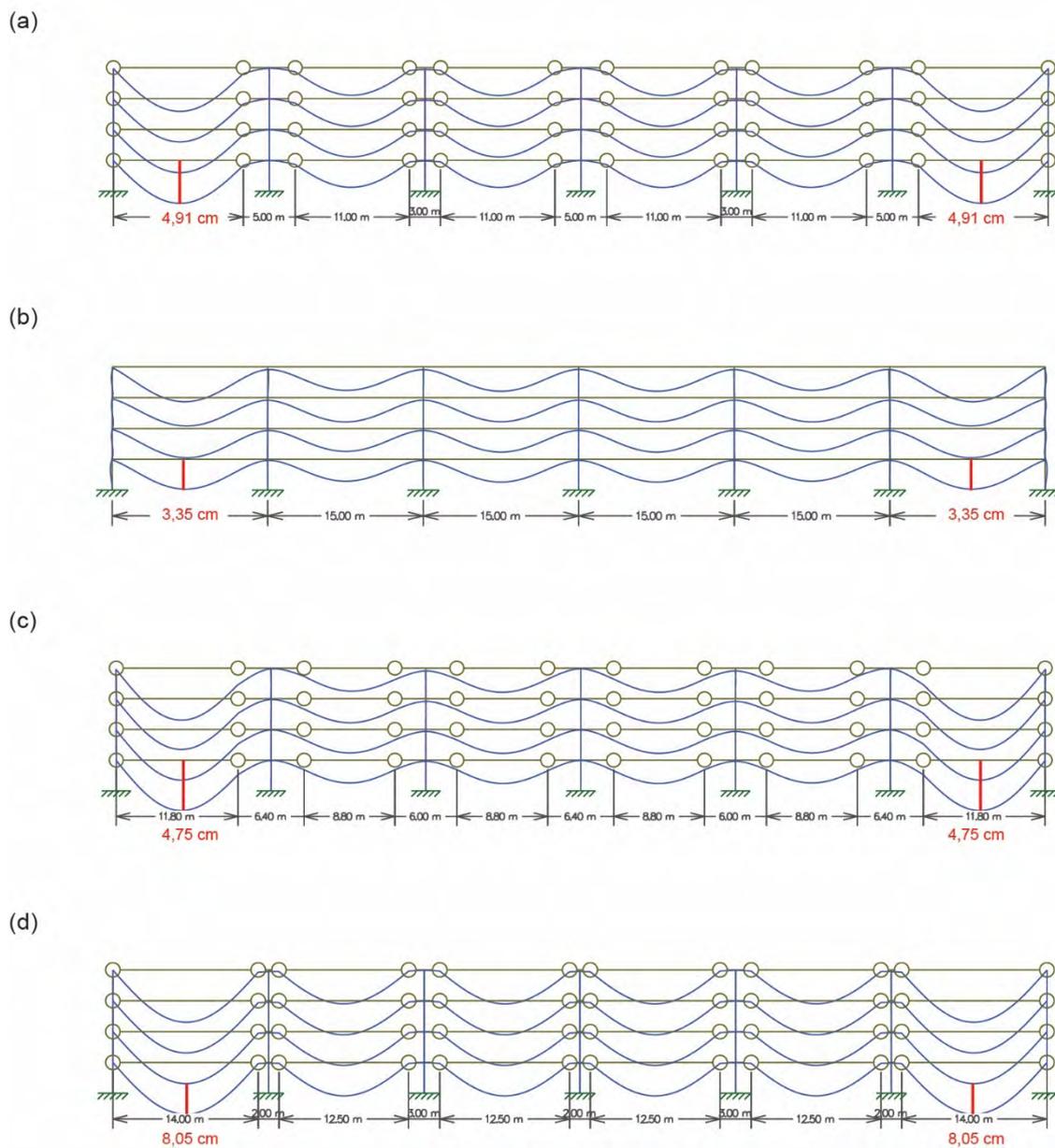


Figura 24 – Diagramas de deslocamentos. Fonte: Desenvolvido pelo autor, Programa Ftool

Na situação (c) e (d), não estão em conformidade com os valores admissíveis das normas vigentes (ABNT NBR 6118/2014). Na situação (a), (b) e (c) estão em conformidade com as normas, mas vale fazer uma ressalva quanto a situação executada, pois a flecha imediata está muito próxima da taxa admissível (conforme o valor da Equação 1), demandando o uso da protensão. Percebe-se, que o sistema de rótulas *Gerber* gera um impacto negativo nos deslocamentos, sendo perceptível, por meio de uma simples inspeção visual, como ilustrado na Figura 25.



Figura 25– Inspeção visual. Deslocamento na viga da extremidade. Fonte: Acervo do autor

As soluções estruturais adotadas nos Blocos A e D são replicadas e adaptadas para as proporções dos blocos menores (B e C). O conjunto idealizado por Lelé se destaca pelo pioneirismo da pré-fabricação em edifícios residenciais – em paralelo ao CRUSP (1962-1963) de Eduardo Kneese – e representa um certo refinamento das aplicações do pré-moldado, em comparação às experiências antecedentes ao conjunto da Colina.

A utilização das rótulas no vigamento longitudinal no arrojado estrutural do Bloco A e D têm impactos nos seguintes aspectos do sistema: o equilíbrio dos esforços internos e a utilização de um sistema linear de estruturas pré-moldadas, capaz de proporcionar uma estrutura flexível de vãos livres. Todavia, os deslocamentos não atendem os normativos vigentes e mesmo com o uso da protensão, a estrutura do conjunto, apresenta deformações perceptíveis a uma

inspeção visual, o que contribui para geração de manifestações patológicas.

6. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E PATRIMÔNIO

O conjunto arquitetônico da Colina foi construído a quase 60 anos, o que coloca sua estrutura de concreto armado, na fase final de sua vida útil, caso não passe por manutenções periódicas que as prolongue.

Por meio de uma inspeção visual, foi possível identificar diversas manifestações patológicas ou tipos de danos na estrutura e nos elementos de vedação da edificação, entre os problemas, destacam-se: cobrimento insuficiente, corrosão de armaduras, desagregação, eflorescências, fissuras, flechas, infiltrações e manchas. Muitos dos danos verificados são possivelmente oriundos: do tempo longo da construção, equívocos de execução – este possivelmente ocorreu devido ao alto aproveitamento das formas de Madeirit – ou deformações excessivas nas vigas, podendo ter origens diversas.



Figura 26 – Manchas | **Figura 27** – Manchas | **Figura 28** – Eflorescência. Fonte: Acervo do Autor



Figura 29 – Eflorescência | **Figura 30** – Desagregação | **Figura 31** – Fissuras. Fonte: Acervo do Autor



Figura 32 – Eflorescência | **Figura 33** – Desagregação | **Figura 34** – Corrosão. Fonte: Acervo do Autor

Nas figuras 16 a 24 ilustram-se as manifestações patológicas na envoltória

da edificação.

Dentre as manifestações patológicas nos elementos estruturais, vale ressaltar vigas do térreo, onde há uma maior diversidade de dano, como: manchas, desagregação, fissuras, flechas e eflorescências. Nas lajes a situação é mais crítica, onde a presença de várias manifestações patológicas contribui para o alto índice de deterioração, com a presença de corrosão em armaduras expostas as intempéries.

O conjunto arquitetônico da Colina, na atual condição de suas estruturas, demonstra certa preocupação, estes edifícios são bastante representativos para a história da construção civil e da própria UnB, pois foram construídos em um contexto experimental, bastante relevante da arquitetura brasileira, além de representar uma fase importante na trajetória profissional e inventiva de João Filgueiras Lima. Sobre o valor patrimonial na obra de Lelé, vale destacar Vilela (2018):

Pensar sobre a natureza colaborativa, tecnológica e industrial à obra do Lelé é um exercício que vai muito além da tentativa de reposicionar o arquiteto no quadro da nossa historiografia. Se por um lado as dificuldades enfrentadas, o papel das referências profissionais e os embates técnicos vividos pelo arquiteto ao longo de sua trajetória corroboram para desmistificar a ideia de um Lelé gênio da pré-fabricação; por outro, reforçam a noção de que o aprender fazendo, motor de sua prática, requer tempo, persistência e muita reflexão. Fruto desse processo é uma arquitetura extremamente didática, que releva o pensamento industrial de seu autor, bem como suas preocupações com os materiais, custos e impacto social. Se quisermos que essa produção perdure e chegue até as gerações futuras, é preciso voltar às origens e proteger a fábrica, não como laboratório de intervenções, mas como testemunho de um conhecimento abrangente e construído de forma gradual.²²

O valor da Colina não está na sua materialidade em si, mas o que ela representa. Este conjunto não é só um fruto de uma experiência construtiva, mas fez parte de algo maior, que foram os anos iniciais da Universidade de Brasília, que em um período de dois anos (1962-1964), contou com o trabalho de grandes mentes em seu processo de materialização, trazendo grandes expectativas,

²² Ver VILELA. A. Desafios da preservação da arquitetura racionalizada de Lelé no Brasil. Revista Thesis / n. 5 (2018) – Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo [ANPARQ], 2018. p. 23

quanto ao rumo da construção civil no Brasil, mas sofreu com o desmonte gerado pela Instauração do Golpe Militar. Portanto, dar os devidos cuidados a esse conjunto, é prolongar a vida de um conjunto singular, que testemunhou fatos relevantes da História da construção de Brasília.

7. CONSIDERAÇÕES

No Brasil, até meados dos anos de 1950, as experiências com pré-fabricação eram tímidas e pouco sistemáticas, mas se desenvolveram em paralelo a indústria do concreto, sendo estas anteriormente, estimuladas pelas políticas da Era Vargas e pelo governo de JK. As experiências pioneiras, se destacam pelo uso sistemático do pré-moldado e ocorrem a partir dos anos de 1960 com a construção do CRUSP (1962-1963), REAP (1962-1968) e a experiência com pré-moldados na Universidade de Brasília, tratada nesta dissertação.

A experiência da UnB ocorre a partir de uma nova fase na carreira de Oscar Niemeyer, que passa a produzir, nos anos de 1950, uma arquitetura que evidencia seus sistemas de estruturas e pela experiência na Europa – especialmente no Leste Europeu – no contexto de reconstrução das nações europeias, onde tem a oportunidade de trabalhar no projeto do Conjunto Habitacional de Hansa, na Alemanha, em 1954, sendo este, seu primeiro projeto internacional.

O sentido de urgência da construção de Brasília e o cargo de coordenador do CEPLAN estimularam Niemeyer a inserir a tecnologia da pré-fabricação na construção da UnB, onde contou com o apoio da secretaria executiva de Lelé e do corpo técnico do órgão de assessoria da Reitoria. A partir de 1962, diversos projetos foram desenvolvidos visando a aplicação do pré-moldado, que contaram com a especialização internacional de Lelé, para viabilizar tecnologicamente a grande demanda construtiva da UnB.

O conjunto arquitetônico da Colina faz parte desse contexto da experiência com pré-moldados na UnB (1962-1972), sendo uma das primeiras obras de Lelé, se destacando pelo uso sistemático do pré-moldado em uma construção de grande escala construtiva e reprodutiva, quando observado a capacidade de replicação dos edifícios em um conjunto de elementos produzidos em série, aplicados em situações distintas de dimensão, sendo os casos dos Blocos A e

D (4.204m²) e os Blocos B e C (2.700m²).

Apesar da simplificação projetual e construtiva proposta por Oscar Niemeyer, Lelé e o corpo técnico do CEPLAN nas primeiras construções, as soluções estruturais adaptadas ao pré-moldado, apresentam a complexidade e inventividade por parte de seus autores. O que chama a atenção no conjunto da Colina é a adaptação de um sistema característico de pontes e viadutos, em um edifício de uso residencial, onde o equilíbrio estático externo é alcançado, por meio de um sistema de vigas duplas, rotuladas e fixadas/engastadas em uma linha de pilares que foram moldados no local. O sistema se completa com as lajes nervuradas apoiadas no viga longitudinal, formando uma grande estrutura isostática.

Com relação ao equilíbrio das forças internas, a geometria das seções, o material e o uso da protensão, garantem uma boa relação dos esforços de momento fletor (positivo e negativo), especialmente, nas extremidades do conjunto, onde há um maior deslocamento e rotação da viga, devido a forma da estrutura e o engaste com o pino de aço. As comparações com outras situações de apoio – realizadas no programa Ftool – mostram o papel das rótulas no equilíbrio de forças da viga longitudinal do conjunto, onde a situação executada demonstra os melhores resultados.

O ponto negativo do conjunto está no deslocamento das vigas longitudinais, apesar de ser uma viga dupla, com protensão, por meio de uma inspeção visual é possível verificar a deformação da viga – como ilustrado na Figura 25 – e seus impactos nos demais elementos da construção, o que contribui para o aparecimento de patologias.

Por se tratar de um conjunto de quase 60 anos, os quatro edifícios do conjunto apresentam diversas manifestações patológicas, por meio de inspeção, é possível identificar diversos problemas, inclusive estruturais, com armações expostas e sofrendo com corrosão.

O tratamento destas patologias e a manutenção periódica do conjunto é crucial, pois esta medida não tratará, somente, estabilidade e segurança aos usuários do conjunto, mas é uma forma de valorizar e preservar as ideias que ali foram expostas. O conjunto arquitetônico da Colina não é apenas, um edifício residencial projetado com estruturas pré-moldadas, pois seus valores patrimoniais vão um pouco além de sua materialidade, a sua história, aos

agentes e o experimento são componentes relevantes e que devem ser levados em consideração, quando tratar o conjunto da Colina como patrimônio ou algo a ser preservado.

A metodologia que embasa a presente pesquisa – por meio das caracterizações de aspectos de uma determinada obra – possibilitam o desenvolvimento de futuros trabalhos, que objetivam compreender aspectos da engenharia estrutural e da construção que contribuíram para o desenvolvimento da arquitetura moderna, pois a Colina e a forma em que foi construída são de grande valia para a história da arquitetura e construção civil brasileira. Esta abordagem possibilita a geração de dados técnicos, teóricos e históricos, que podem contribuir para o ensino da arquitetura, além de valorizar o patrimônio arquitetônico brasileiro.

O presente artigo é um desdobramento da dissertação intitulada: *Equilíbrio Estrutural e Industrialização da Construção: Primeira Experiência em Pré-moldado na UnB*. Defendida por Marcelo Aquino C. R. da Silva, pelo Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (PPG-FAU) da Universidade de Brasília (UnB), em julho de 2020.

8. REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6118:2014 - **Projeto de estruturas de concreto**. Válida a partir de 29/05/2014. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6120:2019 – **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 9062:2017 - **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.

ACRÓPOLE, R. **A estrutura da Universidade de Brasília**. Revista Acrópole, São Paulo, p. 13-45, janeiro 1970.

CAVALCANTE, N. **CEPLAN: 50 anos em 5 tempos**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. Brasília, p. 512. 2015

GUIMARÃES, C. et al. **Arquitetura brasileira após Brasília/depoimentos**. Edgar Graeff, Flávio Marinho Rêgo, Joaquim Guedes, João Filgueiras Lima.

Rio de Janeiro: IAB p Instituto dos Arquitetos do Brasil, 197

ENCICLOPÉDIA Itaú Cultural de Arte e Cultura Brasileiras. São Paulo: Itaú Cultural. **Eduardo Kneese de Mello**. 2020. Disponível em: <<http://enciclopedia.itaucultural.org.br/pessoa286244/eduardo-kneese-de-mello>>. Acesso em: 01 de Ago. 2020. Verbete da Enciclopédia. ISBN: 978-85-7979-060-7

LATORRACA, G. **João Filgueiras Lima Lelé**. São Paulo: Editora Blau - Instituto Lina Bo e P. M. Bardí, 1999

PESSINA, L. H. **Aspectos gerais da pré-fabricação**. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo. UnB. Brasília, p. 475. 1964

REBELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo: Zigurate, 2000.

SCHLEE, A. R. et al. **Registro Arquitetônico da Universidade de Brasília. Brasília**: Editora Universidade de Brasília, 2014.

UNDERWOOD, D. **Oscar Niemeyer e o Modernismo de Formas Livres no Brasil**. Cosac & Naify, São Paulo, SP, 2003

VASCONCELLOS, J. C. D. **Crusp e colina: modulação e construção em dois conjuntos residenciais pré-moldados**. Seminário do.co.,o.mo_sul, Porto Alegre, Julho 2016. ISSN 978-85-61965

VILELA, A. **Architecture without Applause The Manufactured Work of João Filgueiras Lima, Lelé**. Tese de Doutorado. ETH Zurich. Zurich, p. 323. 2019. (DISS. ETH NO. 25146).

VILELA, A. **Desafios da preservação da arquitetura racionalizada de Lelé no Brasil**. Revista Thesis / n. 5 (2018) – Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo [ANPARQ], 2018

IV**ARQUITETURA DE MADEIRA ROLIÇA BRASILIENSE: UM ESTUDO DE CASO, MALOCA E ACADEMIA UNIQUE****ROUND BRASILIENSE WOOD ARCHITECTURE: CASE OF STUDY, MALOCA AND UNIQUE GYM****Pedro Pantoja Luz**

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Brasília – DF, Brasil

ppantojaluz@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/0044123845802364>

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Brasília – DF, Brasil

joaocpantoja@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>

Mafalda Fabiene Ferreira Pantoja

Centro Universitário Euro Americano, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Brasília – DF, Brasil

mfabiene@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/4110366813339671>

Resumo: Este trabalho tem o intuito de apresentar um panorama geral do uso da madeira na Arquitetura Brasileira. Fazendo uma análise sobre aspectos históricos e estruturais nos âmbitos nacional e regional do uso da madeira. Para isto, foi utilizada uma metodologia de estudo de caso, no qual vai abordar e aprofundar características de obras icônicas de Brasília em madeira roliça, mostrando suas similaridades e suas diferenças, tentando assim traçar um panorama da arquitetura contemporânea de Brasília em madeira. O estudo de caso vai trazer duas obras singulares em madeira roliça de Brasília, a Maloca e a Academia Unique. Esta análise busca destrinchá-las estruturalmente mostrando seu sistema, suas peças e suas ligações, a partir de maquetes virtuais 3D e fotos das estruturas para melhor compreensão dos seus esqueletos.

Palavras-chave: Madeira, Roliça, Arquitetura, Contemporânea, Brasileira

Abstract: This work aims to present an overview of the use of wood in the Brazilian Architecture. Analyzing historical and structural aspects at the national and regional levels of wood use. The methodology used was analyzing a case of study, it will approach and deepen particularities of Brasilia's iconic works in roundwood, showing their similarities and differences, trying to draw a panorama of the contemporary architecture of Brasilia in wood. The case of study will bring two unique works in roundwood from Brasília, Maloca and Academia Unique. This analysis seeks to structurally analyze it by showing their system, their parts and their connections, from 3D virtual models and photos of the structures for a better understanding of their skeletons.

Keywords: Roundwood, Contemporary Architecture, Brazilian, Brasileira

1. INTRODUÇÃO

Este artigo busca discorrer sobre a historicidade do uso da madeira no Brasil e, principalmente, em Brasília, seu uso, suas características tectônicas e a sustentabilidade derivada de seu uso. A partir dessas análises, o objetivo do trabalho é contextualizar o uso da estrutura de madeira roliça na arquitetura contemporânea brasiliense, mostrando toda sua potencialidade plástica/estética e estrutural.

Para exemplificar isso, usaremos de estudo de caso duas estruturas icônicas da arquitetura brasiliense, a Maloca situada no campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília e a Academia Unique situada no bairro Sudoeste, também em Brasília. Estes dois edifícios trazem uma plasticidade latente em sua concepção arquitetônica e duas soluções estruturais distintas, mas usando o mesmo material como sistema estrutural.

O estudo de caso partirá de análises imagéticas em maquete estrutural modelada tridimensionalmente e levantamento fotográfico, a fim de mostrar o sistema estrutural completo, com suas conexões e encaixes, a fim de exemplificar como o uso da madeira roliça pode ser impactante, sustentável e esteticamente agradável.

2. HISTÓRICO DA MADEIRA

O Brasil como um país de territorialidade extensa, possui uma flora muito diversificada, tendo nela inúmeras espécies de madeira, que por sua vez possuem propriedades físico-mecânicas diferentes, abrindo o leque para o uso de suas diversas espécies na construção civil nacional. O ex-professor da Universidade de Brasília, Júlio de Melo, especialista na área de madeira, escreveu:

“A madeira é utilizada no Brasil de forma empírica e tradicional, sem a preocupação com o emprego de novas técnicas construtivas e de manutenção já desenvolvidas, o que possibilitaria sua utilização mais racional, tornando-a mais competitiva com os outros materiais de construção. A grande extensão territorial brasileira, aliada às diferenças regionais de desenvolvimento econômico, social e disponibilidade de matéria prima, exige que sejam utilizados os recursos naturais presentes

em cada região, para atender as suas próprias necessidades.”

DE MELO (2013)

A partir de um estudo histórico, é possível perceber a evolução dos materiais utilizados na construção civil brasileira, remetendo a vanguardas específicas que consigo traziam diferentes formas de construção e diferentes materiais empregados, como a utilização da madeira na arquitetura pré-colonial brasileira, o uso da pedra e da taipa na época colonial e o concreto na época modernista. Porém, esse parâmetro da utilização de materiais não se aplica à época contemporânea, devido a mistura de diversos materiais no mesmo sistema estrutural, como madeira e concreto, aço e concreto ou até madeira e aço.

A utilização da madeira no Brasil, foi muito forte nas habitações indígenas, porém após esse período teve um leve declínio em sua utilização, e voltou a ser usada após a revolução industrial com as novas técnicas trazida pelos europeus, como afirma Batista:

...”as transformações ocorridas no Brasil após a segunda metade do século XIX foram marcadas por um início de modernidade. O modelo urbano colonial foi sendo gradativamente substituído e a intensa imigração proveniente da Europa foi um fator determinante destas mudanças. O imigrante europeu introduziu no país novas tecnologias construtivas e o início da industrialização possibilitou a confecção de novos equipamentos e a produção de novos materiais. Surgem no cenário paranaense as construções em madeira, inicialmente executadas com pouco apuro tecnológico, construídas com troncos empilhados encaixados, sendo estas construções introduzidas pelos imigrantes poloneses. Com o surgimento das primeiras serrarias movidas por máquinas a vapor foi possível uma maior eficiência no desdobramento da madeira, surgindo, então, uma padronização de bitolas, que possibilitou uma maior eficiência construtiva.” BATISTA (2007)

2.1 Histórico do uso da madeira em Brasília

Durante o apogeu do Modernismo, nos panoramas nacionais e internacionais, além dos conceitos arquitetônicos que caracterizavam o movimento, a eleição de materiais construtivos industrializados, como o concreto, entre outros, acabou por limitar a utilização de outros materiais de

construção – como, por exemplo, a madeira, na produção da Arquitetura. No panorama de Brasília, este aspecto é ainda mais evidente, por ser uma cidade criada aos moldes modernos, por Lucio Costa e Oscar Niemeyer, foram privilegiadas as construções em concreto, deixando uma margem estreita para a utilização de outros materiais na construção da cidade. Esta perspectiva da cidade começou a mudar recentemente, devido a nova era de arquitetos e da arquitetura, na qual buscam novos materiais e novas alternativas na construção, portanto, a partir disso a madeira começou a ser mais empregada na cidade de Brasília, trazendo um contraponto a cidade concreta modernista.

3. USOS DA MADEIRA

3.1 Questão da sustentabilidade

A partir desta nova geração de arquitetos brasileiros, a utilização da madeira tornou-se mais abundante, por ser um material de qualidades intrínsecas, que pode ser completamente reciclado e seu estoque repostado, a partir de um programa de reflorestamento adequado às realidades locais de plantio, articuladas com mudanças de paradigmas e posturas governamentais e da organização da própria sociedade. Soma-se a isso, tratar-se de um material que é a própria fonte de energia e que, por sua vez, não agride a sustentabilidade do meio ambiente, que se tornaram premissas da arquitetura atual, uma arquitetura sustentável e por isso a utilização da madeira vem crescendo novamente.

3.2 Questão estrutural e estética

As construções em madeira, no entanto evoluíram também, devido a utilização de elementos menores (montantes e barras), arranjadas estruturalmente para a obtenção de grandes elementos (empenas) a partir de elementos menores de madeira. A construção da estrutura evoluiu, subsequentemente, a partir da adoção do sistema pilar/viga, distinta do método construtivo dos arranjos, onde os pilares e as vigas variam no tamanho e na espessura, de acordo com as exigências da estrutura.

Leandro Dussarrat Brito, em sua tese de mestrado sobre madeira roliça, explica o porquê deste sistema estrutural ser tão eficiente e precisar ser mais empregado na arquitetura brasiliense.

Grande parte das construções com peças roliças de madeira no Brasil não

são projetadas e construídas por técnicos e construtores especializados em madeiras.

Isso resulta em estruturas caras, inseguras e de baixa durabilidade refletindo num quadro negativo no uso da madeira como um material estrutural. A utilização tecnológica da madeira como material para a construção civil apresenta inúmeras vantagens, por mais que ainda persista a equivocada idéia de que a madeira tem pequena vida útil. A resistência da madeira roliça, baixo peso, baixo consumo energético para processamento, sua disponibilidade e seu fácil manuseio fazem com que ela se torne um material altamente competitivo e sustentável. A baixa densidade da madeira, se comparada com outros materiais, traz um alívio às estruturas de fundações assim como sua resistência faz com que as estruturas sejam mais esbeltas. Ela é capaz de suportar sobrecargas de curta duração sem efeitos nocivos.

Sua disponibilidade, baixo consumo energético e fácil manuseio fazem com que os custos sejam reduzidos, que seja desnecessária o emprego de mão-de-obra altamente especializada e a execução de sua construção seja efetivamente rápida. “ Brito (2010)

4. CONSTRUÇÃO BRASILIENSE EM MADEIRA ROLIÇA

O objeto deste estudo é a construção brasileira em madeira roliça. Este tipo de madeira se usado corretamente, traz diversos benefícios a estrutura e permite que o material concorra contra os outros materiais. Neste artigo veremos como a madeira roliça pode ser empregada em edificações com um apelo estrutural e estético único, formando obras singulares no contexto urbano na qual está inserida.

A partir dos conceitos apresentados, é possível perceber a partir de um panorama histórico cultural porque a madeira ainda é um material pouco utilizado no Distrito Federal, mesmo possuindo todas as condições climáticas e estruturais necessárias para sua implantação. Entretanto, um contexto histórico construído sobre a cidade modernista concomitante com a rápida industrialização brasileira na época de Brasília, os arquitetos acabaram por preterir o uso da madeira em decorrência do uso do concreto armado. Mesmo neste contexto é possível perceber algumas construções em madeira roliça na cidade e, sendo assim, podemos perceber que algumas se sobressaem em

relação às outras como é o caso do Centro de Convivência Multicultural dos Povos Indígenas, na Universidade de Brasília e a academia UNIQUE, localizada no Sudoeste.

5. ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso decidiu analisar esses dois edifícios icônicos da capital brasileira por serem únicos dentro do contexto urbano. Além de apresentarem soluções estruturais coesas é possível perceber uma estética apurada em questões topológicas, sendo exemplos de edificações em madeira roliça.

5.1 Centro de Convivência Multicultural dos Povos Indígenas (Maloca)



FIGURA 1

O Centro de Convivência Multicultural dos Povos Indígenas, ou como é popularmente chamado: Maloca, está localizada na Universidade de Brasília. Projetada no ano de 2009, pela arquiteta Sônia Christina de Almeida e calculada pelo grupo Carpinteria Estruturas de Madeira, inaugurou-se em 2014 e tornou-se um marco para a Universidade.

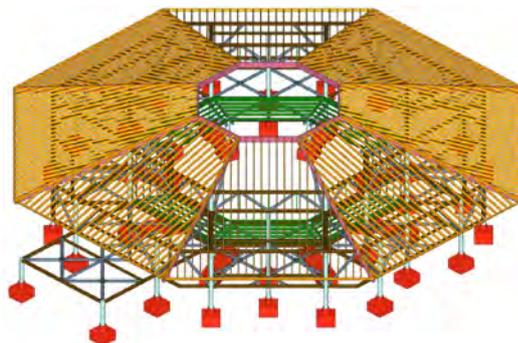


FIGURA 2

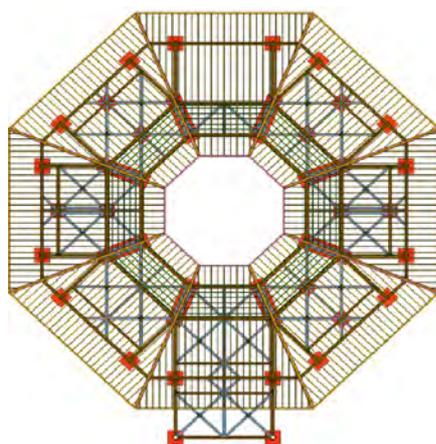


FIGURA 3

O edifício possui formato circular, derivado de uma rotação de uma rotação de pórticos a partir de um pátio central (figura 3), dando assim uma volumetria singular ao projeto. O resto da estrutura é basicamente tradicional, feita de pilares e vigas. O material escolhido foi a madeira de eucalipto tratado sendo usada em peças roliças. Esta espécie de madeira possui excelentes características físico-mecânicas e ganha longa durabilidade com o tratamento industrial (Autoclave) e normatizado. Ele é indicado para vigas, caibros e peças estruturais. O que se obtém com o uso desse método na madeira é: uma peça limpa e seca, livre de odores e de óleo; uma peça inerte; boa relação de custo x benefício e uso de madeira reflorestada, sendo uma opção sustentável.

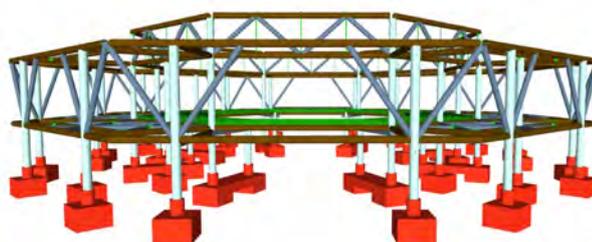


FIGURA 4

A estrutura proposta possui algumas singularidades, como: suas ligações e suas soluções estruturais. Uma delas foi a utilização de mãos francesas para minimizar o momento gerado pela grande cobertura nos pilares, que tem o objetivo de diminuir o vão de ação da estrutura, apoiando a viga da cobertura aos pilares de sustentação em peças diagonais, sendo fixadas uma peça a outra por barras rosqueadas, dando estabilidade ao projeto.

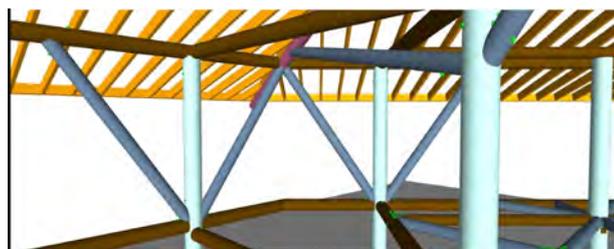


FIGURA 5

Outra solução estrutural encontrada no Centro de Convivência Multicultural dos Povos Indígenas foi a utilização de treliças como suporte da cobertura, o que permitiu uma esbeltes maior a estrutura, ou seja, foi possível a utilização de menos materiais e peças menores em sua construção. Além disto, na fachada frontal foi utilizado um atirantamento como solução estrutural, deixando assim a entrada da edificação com um vão livre maior. Seu assoalho do pavimento superior é composto por barrotes de madeira apoiados em vigas diagonais, paralelos às vigas que ligam os pilares seguindo a circunferência do edifício. Apoiados nos barrotes existem placas de mármore que são a base do piso acima. Para proteção contra cupins e umidade, seus pilares de madeira são apoiados em uma estrutura de concreto que eleva a estrutura do chão, além de ter sua base impermeabilizada para maior segurança.

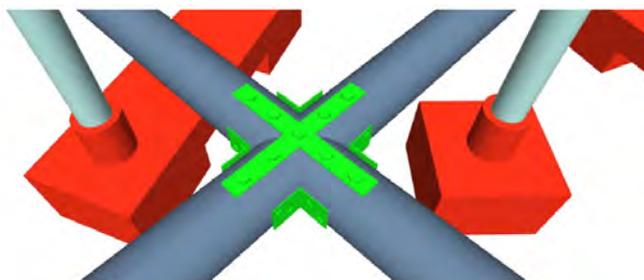


FIGURA 6



FIGURA 12

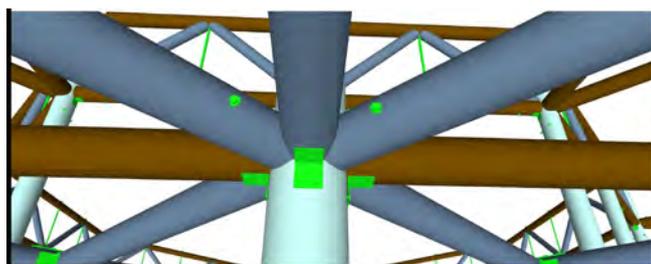


FIGURA 7



FIGURA 13

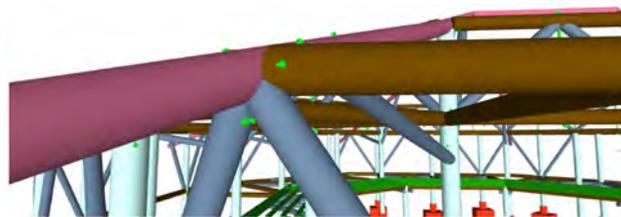


FIGURA 8

Figura 8 – Ligação entre espigão e vigas a partir de parafusos rosqueados – Arquivo Pessoal

As ligações das vigas entre si e das vigas entre os pilares, dão por suportes metálicos de diversos tipos, dando mais estabilidade a estrutura e tornando a ligação das peças mais rígidas.

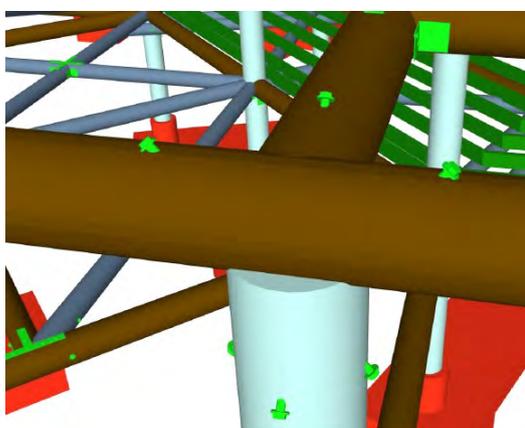


FIGURA 9



FIGURA 15

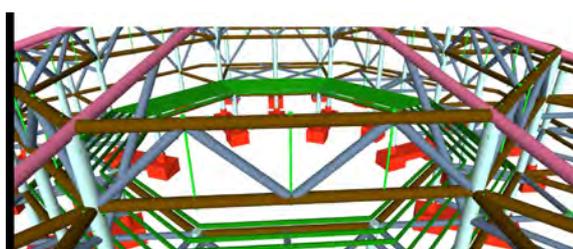


FIGURA 10

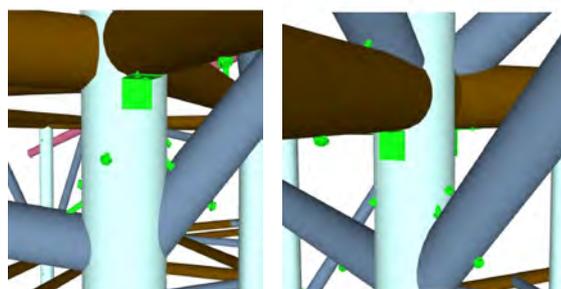


FIGURA 11



FIGURA 14

5.2 Academia Unique

A academia Unique, localizada no setor gráfico de região Sudoeste de Brasília, possui diversas singularidades como estrutura. Além de ser um projeto esteticamente bonito e chamativo, sua grelha estrutural é bem resolvida e montada, o que torna um dos projetos mais interessantes em arquitetura de madeira roliça. Projetado pelos arquitetos Regina e Sérgio Fittipaldi, sendo sua concepção estrutural feita por Roberto Lecomte de Mello e seu cálculo estrutural pelo professor Júlio Eustáquio de Melo.

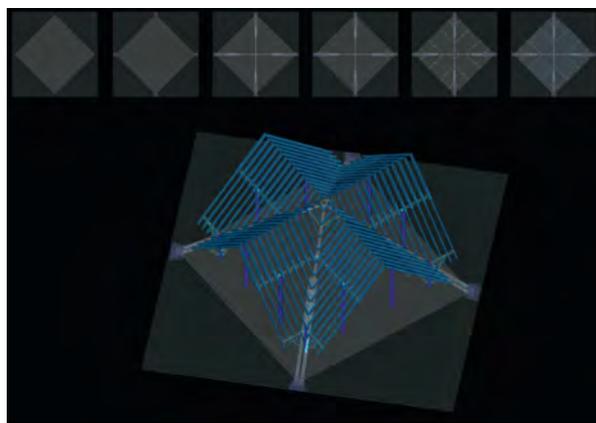


FIGURA 16

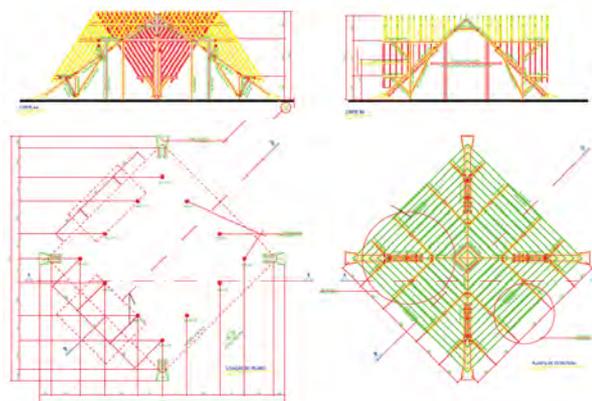


FIGURA 17

A Unique foi reconhecida pelo projeto arquitetônico baseado na simetria orgânica (figura 14). Construída com madeiras e vidros, a modernidade do design visa o equilíbrio e a integração com a natureza. A academia tornou-se um marco em construção em madeira de Brasília.



FIGURA 18

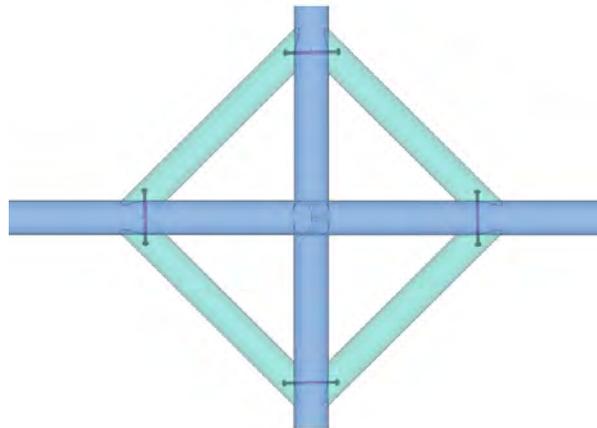


FIGURA 19



FIGURA 20

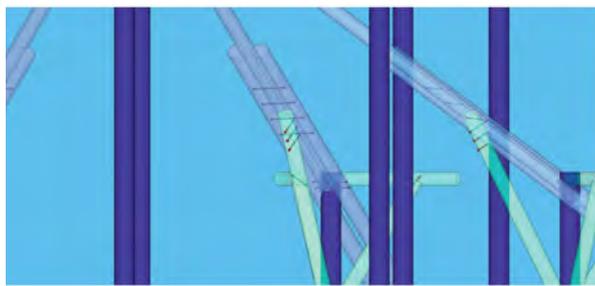


FIGURA 21



FIGURA 22



FIGURA 23

Sua estrutura principal é feita a partir de quatro peças chamadas de rincão, com espessura de 25mm, nas quais se apoiam os caibros e as travessas, que fazem um formato triangular, deixando a estrutura com um formato de asa delta. A estrutura ainda é contra ventada a partir terças, pilares e mãos francesas que seguram a cobertura, disposta em forma estelar. Sua cobertura possui inclinação de 45 graus, e o pé direito alto proporciona ventilação e iluminação naturais, o que torna essa academia uma das poucas cuja atividades são realizadas sem uso de ar-condicionado.

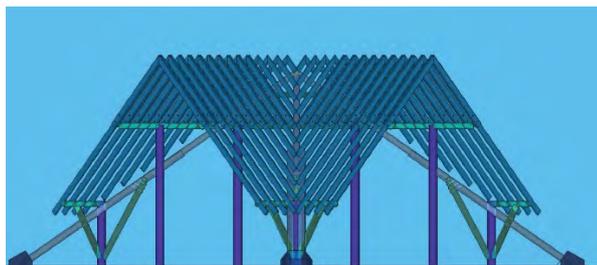


FIGURA 24

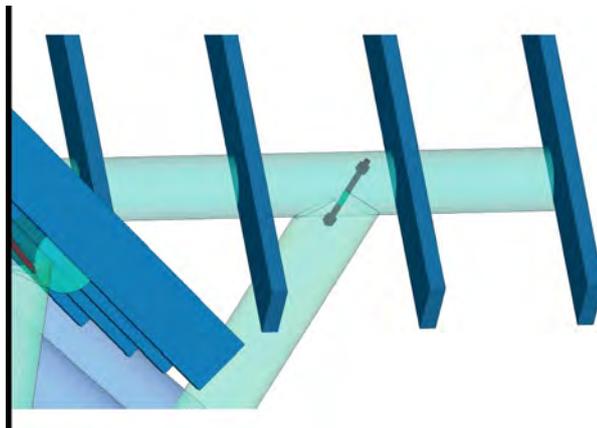


FIGURA 25

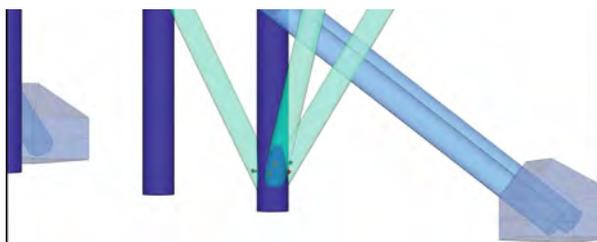


FIGURA 26

As ligações de toda estrutura são feitas a partir de barras rosqueadas, com porcas e arruelas, de diâmetro igual a 19mm.

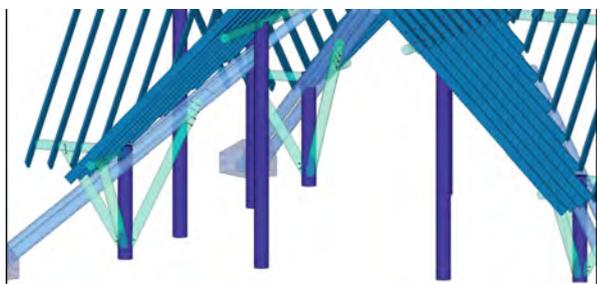


FIGURA 27

6. CONCLUSÃO

O uso da arquitetura em madeira no Distrito Federal ainda permanece tímido, podendo ser vista poucos exemplos de sua arquitetura na capital do país. Entretanto, é importante notar que a arquitetura contemporânea está em constante mudança e novas técnicas e soluções estruturais aparecem, assim como o uso da madeira roliça para estruturas é pouco utilizada atualmente, num futuro próximo ela pode ser muito mais empregada graças as suas propriedades únicas, além de fazer uma arquitetura sustentável, limpa e esteticamente marcante como foi visto nos exemplos deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, F. **A tecnologia construtiva em madeira na região de Curitiba: da Casa Tradicional à Contemporânea.** Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2007.

BONO, Cynara Tesson. **Arquitetura Contemporânea em Madeira.**

BRITO, Leandro Dussarrat. **Recomendações para o Projeto e Construção de Estruturas com Peças Rolíças de Madeira de Reflorestamento.** 2010

DE MELO, Júlio Eustáquio. **Sistemas Estruturais em Madeira.** 2013

MARCOS, Micheline Helen Cot (1); CAMARGO, Arlindo (2); MIRANDA, Antônio Claret (3). **A Arquitetura em Madeira Frente às Novas Construções e a Percepção do Usuário na Cidade de Curitiba.** 2015

MENDES, C; VERÍSSIMO, C; BITTAR, W. **Arquitetura no Brasil: de Cabral a Dom João VI.** Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, 2011.

STRUCTURAL SYSTEM & WOOD

Link: http://admin-playground.sites.olt.ubc.ca/files/2016/12/9_StructuralSystem.pdf

TIMMERS, M; ROGOWSKI, B; MARTIN A., J; JACOBS TSAY, A; PERKINS+WILL; JONES, B; O'NEILL, J; HOLMES, F. **Mass Timber High-Rise Design Research: Museum Tower in Los Angeles Reimagined in Mass Timber.** 2015 SEAOC CONVENTION PROCEEDINGS

VAZ, Taciana Assunção. **Um Olhar do Arquiteto sobre Brasília.** 2012

V**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE BIELAS E TIRANTES EM VIGAS DE EQUILÍBRIO NA FERRAMENTA CAST****APPLICATION OF STRUT-AND-TIE MODEL IN OVERHANGING BEAMS USING CAST PROGRAM****Philippe Queiroz Rodrigues**

Instituto de Pós-Graduação - IPOG

Brasília – DF, Brasil

engcivil.philip@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/5641186141915307>**João da Costa Pantoja**

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Brasília – DF, Brasil

joaocpantoja@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>

Resumo: O modelo de bielas e tirantes tem se apresentado útil na resolução de problemas envolvendo regiões de descontinuidade (consolos, aberturas em vigas, viga *Gerber*) em concreto armado. Destas aplicações, vigas de equilíbrio com carga excêntrica apoiadas em estacas têm sido frequentes em projetos devido as edificações atingirem a divisa do terreno embora seus estudos não ocorram em mesma intensidade. Este trabalho visa modelar e comparar o desempenho de diversas topologias de bielas e tirantes para uma viga de equilíbrio sob determinado carregamento através do programa CAST baseado nos dispositivos normativos nacionais. A interface gráfica do programa dispõe ao usuário a verificação de cada elemento da treliça. Contudo, nesta ferramenta não há geração automática da topologia ótima de bielas e tirantes, cabendo assim à experiência do projetista estrutural a escolha do modelo que mais se aproxima do comportamento da estrutura. Foram propostas, neste artigo, seis modelos de treliça variadas para uma única viga com parâmetros geométricos e propriedades dos materiais constantes. Reduziu-se o carregamento até obter um stress ratio a 1,0 em cada modelo. São apresentados os resultados e comparados os desempenhos, armadura requerida e limitações. Alguns modelos atingiram cargas últimas similares mobilizando diferentes elementos da treliça. Mediante os resultados alcançados no CAST, obteve-se a viga com desempenho dos elementos satisfatório e efetuou-se uma análise de aplicabilidade do caso. Foram discutidas potencialidades do programa como a didática para o ensino do modelo de bielas e tirantes e a automação na verificação dos nós.

Palavras-chave: modelo de bielas e tirantes, topologia, CAST, Vigas de equilíbrio.

Abstract. The strut-and-tie model has been useful to solve problems involving D-regions (holes, dapped end beam) in reinforced concrete. On this approach, overhanging beams supported by pile foundation has been found frequently in building on the limit of land although its study does not follow the same intensity. This work aims to compare the performance of some struts and tie topology for a beam under predefined load through CAST based on Brazil Codes. The tool

allows users an iterative process verifying each truss element. Nevertheless, there isn't automatic optimum topology generation thus requiring an experience by the designer to choose the best model. It was proposed six varied layouts for a beam with constant geometric and materials properties, applying equal failure load to all models. Reduced the load in order to obtain in stress ratio bellow and near to 1.0 in each model. The results are presented comparing their reinforcement and limitations of layout. Some models reached equal maximum load working different members. From the results, it was possible to define the beam with reasonable performance and their applicability in practical design. It was discussed the potentials of the program like teaching the strut-and-tie model and also automation in node verification.

Keywords: strut-and-tie, topology, CAST, stress ratio, overhanging beams.

1. INTRODUÇÃO

Dada a crescente necessidade de pilares na divisa do terreno em edificações, tem-se empregado vigas de equilíbrio de modo a combater o momento gerado pela ação excêntrica (carga do pilar). O estudo de vigas de equilíbrio apoiadas em fundações em sapatas tem sido vasto, no entanto, diversos fatores podem impossibilitar ou inviabilizar o uso de fundações superficiais incorrendo, portanto, em fundações profundas. Neste caso é notória a deficiência de pesquisas sobre vigas de equilíbrio apoiadas em blocos de coroamento de estacas.

Na literatura escassa existem estudos envolvendo análises por elementos finitos para obter um entendimento do comportamento do conjunto viga/bloco. Autores como Burke e Andrade propuseram rotinas de cálculo simplificadas para o dimensionamento. Desde que a hipótese de Bernoulli não pode ser aplicada ao problema, a alternativa está no método de bielas e tirantes do professor Schlaich (1987), Marti (1985) que fundamentaram a análise do comportamento dos elementos nos estados limites, quer estado elástico, quer plástico e cujo utilização estende-se a uma vasta gama de elementos estruturais.

O presente trabalho busca estudar diversos modelos de bielas e tirantes para uma viga de equilíbrio com propriedades geométricas e materiais constantes de modo a entender o seu comportamento em diferentes arranjos de treliças. A fim de facilitar e otimizar as comparações, a pesquisa utilizou a ferramenta computacional CAST (2000) baseado em análises elásticas matriciais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Modelo de bielas e tirantes

Silva (1999) enuncia o citado modelo como representações discretas dos campos de tensão (compressão ou tensional de tração) dentro do elemento estrutural decorrente dos carregamentos atuantes e condições de contorno impostas. Nas palavras de Souza (2006) o modelo equivale simplificar a estrutura real por uma estrutura resistente na forma de treliça onde os elementos comprimidos são definidos bielas e os elementos tracionados, tirantes. O local de interseção dos elementos bem como encontros de aplicação de cargas/reações são os nós.

Uma das principais aplicações do modelo exposto diz respeito ao dimensionamento de regiões com descontinuidade como viga de equilíbrio, vigas-parede, ligação viga-pilar, apoio em dente, consolos, blocos rígidos sobre estacas, sapatas onde as hipóteses de Bernoulli não são válidas, pois, as deformações são significativas e a distribuição de tensão é não-linear. Schafer e Schlaich (1998, 1991) propuseram a divisão dos membros estruturais em Região B (adoção das hipóteses de Bernoulli) e Região D (descontinuidade), esta última adjacente a irregularidades ou perturbações onde a teoria da viga não se aplica. As manifestações na região D podem ser geométricas, mudança abrupta de seção; abertura de furos em vigas; ou estática (regiões próximas a carregamentos concentrados e reações) e sua extensão dada pelo princípio de Saint Venant's. Este princípio sugere que o efeito localizado de uma perturbação se extingue aproximadamente à altura do elemento estrutural a partir do ponto de distúrbio em cada direção (WIGHT, 2005). É consenso que o dimensionamento da região D, mediante os métodos convencionais empíricos ou "boas práticas", pode levar a soluções inseguras ou inadequada que tem acarretado ainda o colapso da estrutura (SIMONETTI, 2013). Portanto, o método das bielas e tirantes tem se demonstrado útil na resolução destes problemas fornecendo resultados próximos ao real comportamento estrutural do elemento.

O STM (Strut-and-Tie Method) é embasado no teorema do limite inferior que admite o seguinte: na existência de uma carga atuante, o campo de tensões intrínseco do elemento deve atender às condições de equilíbrio no interior e contorno (campo de forças) bem como o critério de resistência dos materiais

satisfeito (campo dos materiais) a fim de se obter um limite inferior para a capacidade de materiais elasto-plásticos perfeitos (SANTOS, 2004). Desse modo, a carga atuante é inferior ou igual a carga de colapso da estrutura e o campo de tensões é dito estável e estaticamente admissível. Está claro que os limites inferiores estão sempre a favor da segurança, no entanto, deve-se garantir que o esmagamento das bielas e regiões nodais não ocorra antes do escoamento dos tirantes.

2.2 Método do caminho das cargas

A construção do modelo de bielas e tirantes é função das forças atuantes e da geometria do elemento estrutural. Silva (1999) aponta os seguintes aspectos a serem analisados:

- Tipos de ações atuantes;
- Ângulos entre bielas e tirantes;
- Área de aplicação das ações e reações;
- Quantidade de camadas da armadura;
- Cobrimento da armadura.

Definida a geometria do modelo, prossegue-se para a determinação da trajetória das cargas dentro do elemento podendo ser através do método do caminho das cargas. Em suma, trata-se de interpretar o caminho tal que a carga aplicada percorra o elemento e encontre uma reação ou carga que a equilibre.

Algumas recomendações precisam ser observadas durante a construção do modelo:

- Os caminhos de carga devem ser alinhados e não podem se interceptar;
- Como referência para a topologia, pode ser utilizada a distribuição das tensões elásticas dentro da estrutura, assim obtém-se o posicionamento das bielas e tirantes e, por conseguinte, o ângulo;
- Os centros de gravidade das bielas e tirantes e as linhas de ação das forças carecem coincidir em cada nó;
- Cargas opostas necessitam seguir o menor caminho possível;
- Curvas no caminho de carga denotam concentração de tensão.

Por conseguinte, ainda com geometria idêntica, todavia com carregamentos distintos se tem modelos diferentes. Isto dificulta a parametrização entre altura/vão para a definição do modelo a ser adotado. Pantoja (2012) salienta que

esta etapa do modelo de bielas e tirantes requer uma demasiada dependência da experiência e sensibilidade do projetista estrutural para alcançar o modelo que mais se aproxima do real comportamento da estrutura.

2.3 Bielas

Consoante Schlaich (1988), a força do concreto nos campos de compressão ou dentro dos nós depende de uma faixa de extensão no estado multiaxial de tensões e de perturbações da ruptura e reforços. Estes campos de compressão assumem configurações em função da distribuição de tensão;

- Biela prismática (parallel / prismatic): tem distribuição paralela sem distúrbios, não gera tensão transversal de tração;
- Biela leque (fan-shaped): o campo de tensão é radial e as curvas, desprezíveis. A compressão transversal é favorável especialmente se agir em ambas as direções transversais como por exemplo em regiões confinadas (SCHAFËR, 1988);
- Biela garrafa (bottle-shaped); A distribuição de tensões é curvilínea com afunilamento da seção. Próximo às forças atuantes há aparecimento de tensões de compressão biaxial e triaxial. As tensões transversais de tração são confirmadas.

Souza (2006) expõe que as bielas em formato de garrafa e leque estão presentes em “regiões D” enquanto àquelas com formato prismático característicos de “regiões B”. Os campos leque se formam logo após o ponto de aplicação da carga e as bielas tipo garrafa no encaminhamento das cargas para apoios (Figura 1).

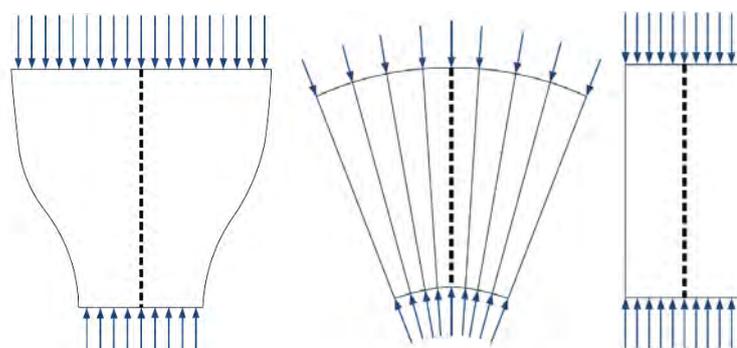


Figura 1 – Formato das bielas: Garrafa, Leque e prismático
Fonte: Pantoja (2012)

Souza (2004) em sua tese esgota as diversas recomendações de resistência existentes, não sendo este o propósito do presente trabalho, afinal não se tem

valor consensual ainda em normas especializadas e autores renomados. A NBR 6118:2014 no item 22.3.2 dispõe as verificações para as bielas e regiões nodais;

$$f_{cd1} = 0,85 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \quad (1)$$

$$f_{cd2} = 0,60 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \text{ (menor resistência - Tirantes)} \quad (2)$$

$$f_{cd3} = 0,72 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \quad (3)$$

- f_{cd1} : tensão resistente máxima no concreto em regiões sem tensão de tração transversal, havendo tensão de compressão naquela direção (equivalente a biela leque ou prismática) e nós (CCC), isto é, converge somente bielas de compressão;
- f_{cd2} : Tensão resistente máxima no concreto em regiões com tensão de tração, (equivalente a biela tipo garrafa) e nós CTT e TTT (converge dois ou mais tirantes);
- f_{cd3} : Tensão resistente máxima no concreto com nós CCT convergindo um único tirante;
- α_{v2} : $(1 - f_{ck}/250)$, f_{ck} em MPa. (4)

2.4 Nós

Na proposição de Silva (1999) “nós” refere-se a uma parcela de volume de concreto idealizada nos vértices das bielas comprimidas e/ou tirantes e também forças atuantes ou restrições de apoio. Na estrutura real este nó possui um comprimento e largura enquanto no modelo suposto significa um ponto de encontro e de mudanças bruscas na direção das forças. A fim de atender ao equilíbrio das regiões nodais, no mínimo três forças precisam aparecer no nó.

Abaixo convenção de nós empregada atualmente;

CCC – Nós em que todos os elementos convergentes são bielas;

CCT – Nós em que um dos elementos é tirante;

CTT – Nós em que dois ou mais elementos são tirantes;

TTT – Nós em que todos os elementos são tirantes.

2.5 Tirantes

O dimensionamento da seção dos tirantes é efetuado tal qual usualmente; a força solicitante no estado limite último e a tensão de escoamento do aço. Na impossibilidade de empregar armadura, pode ser verificado e dimensionado o tirante de concreto fazendo uso do esforço a tração do tirante no estado limite último.

$$A_s = \frac{F_{sd}}{f_{yd}} \quad (5)$$

Sendo;

A_s – Armadura do tirante

F_{sd} – Força solicitante no tirante

f_{yd} – Tensão de escoamento do aço

Souza (2004) salienta a importância da ancoragem dos tirantes na região D dentro do modelo de bielas e tirantes. A armadura tem que desenvolver a tensão solicitada no apoio para que não ocorra a perda de ancoragem. Ainda segundo o pesquisador, essa ancoragem é obtida mediante um volume de concreto no entorno da armadura de tirante. Para que a ancoragem seja efetiva e não suceda esmagamento da região nodal, expressiva zona tracionada de tirante (largura efetiva do tirante) tem que ser prevista. Isto se obtém com a distribuição vertical das barras em camadas. Reineck apud Bounassar (1995) recomendam as seguintes larguras de camada efetiva w_t em função do número de camadas.

$$w_t = \phi, \text{ para uma camada de armadura com ancoragem dentro do nó; } \quad (6)$$

$$w_t = \phi + 2c, \text{ para uma camada de armadura e ancoragem atravessando o nó de um comprimento igual a pelo menos } 2c; \quad (7)$$

$$w_t = \phi + 2c + ns, \text{ "n" camadas de armadura e "s" o espaçamento limitado a 1,5 vezes a largura do apoio ou da placa de apoio. } \quad (8)$$

Onde;

ϕ ; bitola de aço dos tirantes;

c ; cobrimento de concreto do elemento estrutural.

Em resumo, uso de bitolas de aço menores e em maior quantidade ajudam na definição da geometria e resistência das regiões nodais, ademais auxiliam na limitação das fissuras. Quando previsto barras ancoradas tipo grampo, a ancoragem torna-se mais eficiente visto que as forças no tirante se tornam forças de compressão por detrás do nó incrementando ainda mais a resistência à compressão na região nodal.

No tocante a armadura de controle de fissuração, a NBR 6118:2014 no item 17.3.5.2.3 obriga uma mínima armadura lateral de $0.10 \% \cdot A_c$ em cada face da alma da viga e composta por barras de CA-50 ou CA-60, com espaçamento não maior que 20 cm.

De acordo com item 2.1 o modelo de bielas e tirante é concebível para vigas

de equilíbrio cujo funcionamento, dimensionamento previsto na literatura serão apresentados brevemente no item 2.6.

2.6 Viga de Equilíbrio

As vigas de equilíbrio, recorrentes em sapatas de divisa, tem função de absorver o momento gerado pela excentricidade dos pilares em relação ao centro da sapata, posicionados na divisa do terreno (Figura 2).



Figura 2 - Diagrama de corpo livre (Viga de equilíbrio)
Fonte: O próprio autor (2020)

As referências sobre viga de equilíbrio aplicadas a bloco de concreto armado sobre estacas são limitadas (Figura 3). Tanno (2012) propõe um estudo analítico e numérico de blocos de concretos posicionados nas divisas de terrenos que permeia desde exemplos como Burke (1979) E Andrade (1989) apud Tanno (2012) até análise numérica em regime elástico-linear de um bloco com auxílio do DIANA. Estes autores desenvolveram rotinas de dimensionamento de vigas de equilíbrio associadas a blocos em três situações:

- Vigas de equilíbrio com forças diretas e sem momento fletor no pilar;
- Vigas de equilíbrio com forças diretas e com momento fletor no pilar;
- Vigas de equilíbrio com forças indiretas.



Figura 3 - Viga de equilíbrio
Fonte: Tanno (2012)

Burke (1979) Apud Tanno (2012) orienta que do centro da estaca até o pilar de divisa seja avaliado a segurança estrutural como consolo e do centro da estaca até o apoio consecutivo seja considerado a teoria convencional da viga. Para Andrade (1989) apud Tanno (2012), a decomposição da força e distribuição deve ser realizada por triângulos para que seja determinada a força no tirante e dimensionada as barras. A biela é formada entre o pilar e o apoio, região em

diagonal que deve apresentar tensão resistente superior a tensão atuante. Com auxílio das relações trigonométricas para o triângulo retângulo e o ângulo da biela, se obtêm a tensão atuante.

Outra via para cálculo das resistências das bielas e tirantes se faz pela ferramenta CAST, o programa verifica as resistências das bielas, tirantes e nós que será apresentado no item 2.7.

2.7 Software CAST

Desenvolvido pelo professor Daniel Kuchma da Universidade de Illinois at Urbana-Champaign, Estados Unidos, o programa CAST (Computer Aided Strut-and-tie) é uma ferramenta computacional que permite a análise, verificação e dimensionamento da região D baseado no modelo das bielas de estruturas de concreto armado. É reconhecido pela sua agilidade durante o processo gráfico e iterativo do modelo. A ferramenta permite que o usuário desenhe o contorno da Região D, aplique as vinculações dos nós, as bielas, os apoios, carregamentos e aberturas. O programa foi desenvolvido embasado na norma ACI-318 (2003) e pesquisadores relevantes, contudo é disponibilizado ao usuário definições próprias.

É preciso salientar que o programa não dispõe de um processo de otimização automatizado que indique o modelo mais adequado, cabendo esta tarefa ao usuário que tem que dispor de suporte teórico sobre o modelo de bielas e tirantes bem como experiência para considerar aspectos construtivos e econômicos. Isto, entretanto, não limita o usuário a uma única solução, permitindo uma gama de variedades para um elemento estrutural (SANTOS E GIONGO, 2008).

A rotina de dimensionamento das bielas realiza-se com base nos parâmetros adotadas por normas ou usuário. O CAST ainda conta com recurso de determinação automática da espessura por meio de um parâmetro adimensional definido como stress ratio que consiste na razão entre a tensão atuante (stress demand) e tensão resistente (stress limit). Os valores superiores a 1,0 indicam a ruptura, situação não desejada, e bielas com stress ratio próximo de 1,0 indicam projeto ótimo, isto é, menor custo. Outro parâmetro relevante é o fator de eficiência “ ν ” (“effectiveness fator”) cuja função segundo Souza (2006) é reduzir a resistência a compressão do concreto em corpos de prova. Este parâmetro foi

proposto por Nielsen (1967) que considera a relação tensão-deformação real do concreto e a relação tensão-deformação rígida ou elasto-plástico perfeito.

O dimensionamento dos tirantes, tal como as bielas, possui um stress ratio que relaciona a força resistente (Force Capacity, F_{tu}) e Força atuante (Force demand, F_t) de maneira que aquele deverá ser maior que este.

As regiões nodais são produtos da intersecção das espessuras efetivas das bielas e tirantes no programa CAST. Este possui dois tipos de análise; análise simplificada (verifica o nível de tensão na interface tirante/escora e nó) e a análise detalhada (segmenta a região nodal em “n” quantidade de triângulos com tensões constantes (SOUZA, 2006). A aplicação desta última análise é possível com a divisão da região nodal em triângulos, em nós com mais de três lados (Figura 4). A distribuição dos triângulos e descontinuidade é realizada de modo que o estado de tensão nos triângulos seja constante e ainda seja atendida o equilíbrio na interface dos triângulos. Essa linha de descontinuidade parte dos vértices das zonas nodais. A verificação da tensão atuante com a tensão resistente em cada triângulo é baseada em um critério de ruptura biaxial. Nos “nós” com triangulação CCC é empregado o Critério de Modificado de Mohr-Coulomb e aos tipo CCT, CTT, TTT é aplicada uma versão linearizada do Critério de Mohr-Coulomb para a verificação da resistência dos triângulos no nó.

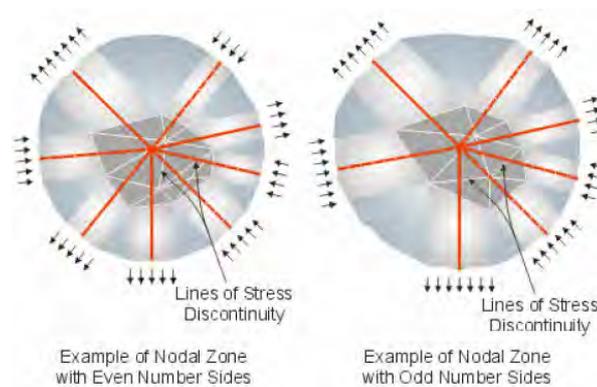


Figura 4 - Triangulação dos nós
Fonte: Souza (2006)

O programa CAST permite ao usuário desenvolver análises não-lineares do tipo carga-deslocamento inserindo um arquivo de texto ou alimentando-o com tensão-deformação para os nós, bielas e tirantes. Tjhin (2004) apud Souza (2006) evoca que análises mais realistas, contemplando os efeitos de tração entre fissuras nos tirantes, são possíveis.

3. MATERIAIS, COBRIMENTOS E DIMENSÕES CONSIDERADAS

Empregou-se concreto f_{ck} 30 MPa, com cobrimento de 3 cm e aço com tensão de escoamento característica de 500 MPa. A largura b_w da viga de 50 cm e os apoios de primeiro e segundo gênero, respectivamente, simulando a fundação (estacas). A força F variável indica a carga do pilar atuando na viga de equilíbrio. Para fins de comparação, fixou-se diâmetro da bitola de aço de 12.5 mm. A Figura 5 representa as dimensões da viga analisada.

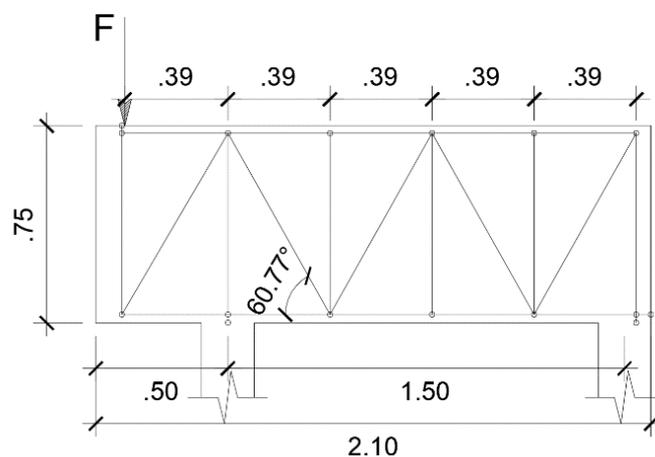


Figura 5 - Viga de equilíbrio proposta
Fonte: O próprio Autor (2020)

4. RESULTADOS

Foram propostas seis modelagens de treliças no CAST com ângulos de inclinação das bielas/tirantes, cobrimento, seção da viga, vão efetivo, cobrimento de concreto idênticos. A variação ocorreu apenas na topologia de cada treliça. Em todos os modelos, iniciou-se com carregamento predefinido de 85 tf sendo reduzido paulatinamente até obter uma carga última. Efetuou-se a verificação de todos os elementos e nós para cada modelagem de modo que nenhum elemento possua solicitação maior que a capacidade resistente.

Topologia I

A Figura 6 expõe a envoltória de resistência com tirantes representados por barras contínuas e bielas por barras tracejadas. Os valores positivos indicam tração e negativo, compressão. Está indicado também a solicitação de cada barra e a porcentagem da solicitação em relação à resistência última. As cores condizem com a porcentagem do elemento; cores mais quentes denotam valores elevados de solicitação e cores frias, valores baixos (Figura 7). Foi aplicado uma

força máxima de 600 kN com Escora E7 apresentando sollicitação de 479 kN, correspondendo a 70.6% da capacidade última. O tirante E2 foi mais sollicitado (89,1% da tensão resistente). Os destaques em amarelo na Figura 6 sugerem os elementos citados acima.

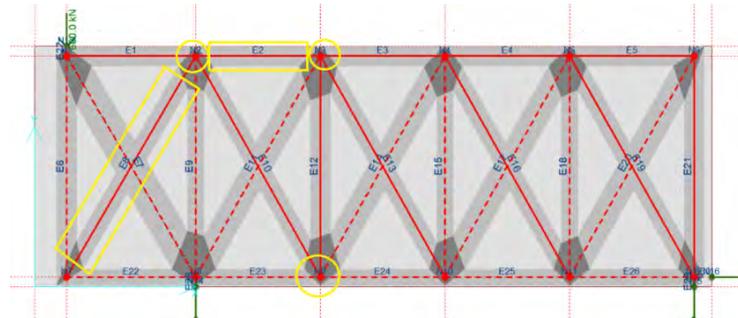


Figura 6 - Topologia das bielas e tirantes no modelo I
Fonte: O próprio Autor (2020)

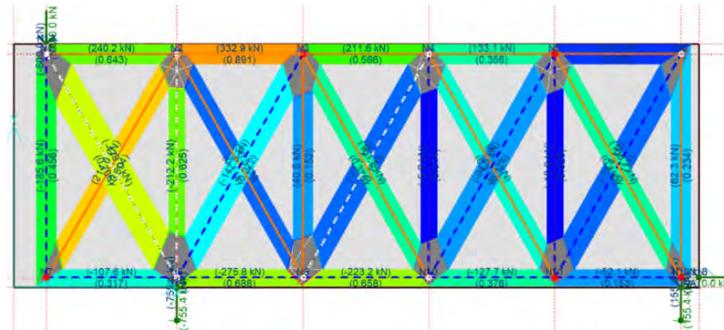


Figura 7 - Sollicitações nos elementos do modelo I
Fonte: O próprio Autor (2020)

A Tabela 1 e 2 mostram a área de aço estimada para tirante horizontal de acordo com a força sollicitante. Optou-se por fazer a maior armadura para todos os elementos

Elemento	F_{st} (kN)	f_{yd} (kN/cm ²)	$A_{s,nec}$ (cm ²)	Camada	$A_{s,ef}$ (cm ²)	Stress Ratio
E2	332.9	43.5	7.65	5 (1c) + 2(2c)	7 Ø12.5 mm	0.891
E1	240.2	43.5	5.52	5 (1c) + 2(2c)	7Ø12.5 mm	0.643
E3	211.6	43.5	4.86	5 (1c) + 2(2c)	7Ø12.5 mm	0.566
E4	133.1	43.5	3.05	5 (1c) + 2(2c)	7Ø12.5 mm	0.356
E5	34.9	43.5	0.80	5 (1c) + 2(2c)	7Ø12.5 mm	0.093

Tabela 1 - Tirantes Horizontais (modelo I)
Fonte: O próprio Autor (2020)

Elemento	F_{st} (kN)	f_{yd} (kN/cm ²)	$A_{s,nec}$ (cm ²)	Camada	$A_{s,ef}$ (cm ²)	Stress Ratio
E8	214.6	43.5	4.93	3 (1c) + 2(2c)	5Ø12.5 mm	0.804
E10	30,5	43.5	0,70	3 (1c) + 2(2c)	5Ø12.5 mm	0,114
E12	40,6	43.5	0,93	3 (1c) + 2(2c)	5Ø12.5 mm	0,152
E13	101,0	43.5	2,32	3 (1c) + 2(2c)	5Ø12.5 mm	0,378
E16	83,5	43.5	1,92	3 (1c) + 2(2c)	5Ø12.5 mm	0,313
E19	106,7	43.5	2,45	3 (1c) + 2(2c)	5Ø12.5 mm	0,400
E21	62,3	43.5	1,43	3 (1c) + 2(2c)	5Ø12.5 mm	0,234

Tabela 2 -Tirantes Verticais (modelo I)
Fonte: O próprio Autor (2020)

Seguindo uma análise simplificada, o nó N9 atingiu um stress ratio de 97,5% no encontro com o elemento E23. Entretanto, prosseguindo para análise detalhada dos nós, a triangulação do mesmo nó indicou uma sollicitação maior que a resistente cujo stress ratio foi 128,2% no encontro com o tirante E10 (Figura 8 - Nós N2, N3, N10 E N11 Figura 8).

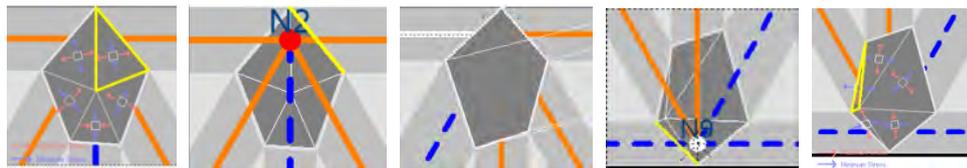


Figura 8 - Nós N2, N3, N10 E N11

Fonte: O próprio Autor (2020)

Divergências entre análises simplificadas e detalhadas também sucedeu no nó N2 uma vez que o lado E2 apresentou stress ratio de 94,2% enquanto a triangulação indicou stress ratio de 42,4%. Quanto aos nós N3, N10 e N11, o CAST retornou que a triangulação não é admissível pois os triângulos excedem a zona nodal.

Topologia II

Submetido a um esforço de 250 kN, houve um esgotamento inicial da biela de concreto E7 com capacidade última de 99% sucedido pelos tirantes horizontais E1 e E2, com stress ratio de 90,5% (Figura 10). Os tirantes verticais atingiram uma capacidade de 69,5%. A biela de concreto mais comprimida teve largura máxima de 43 mm pois valores superiores ultrapassariam a borda da viga. Tal limitação ocorreu aos tirantes pois maior número de camadas implicaria em maior zona de efetiva de tração, excedendo o cobrimento da armadura (Figura 9).

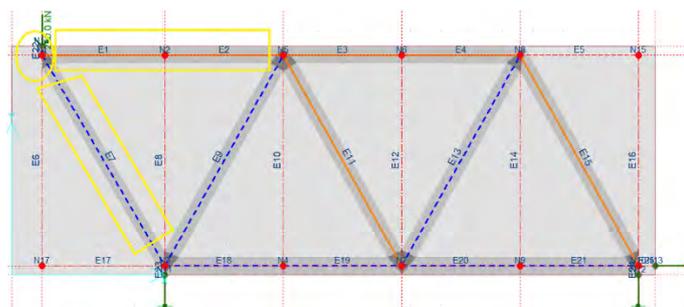


Figura 9 - Topologia das bielas e tirantes no modelo II

Fonte: O próprio Autor (2020)

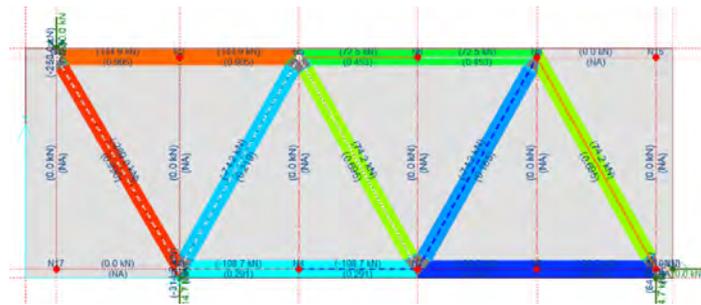


Figura 10 - Solicitações nos elementos do modelo II
Fonte: O próprio Autor (2020)

A análise simplificada indicou o nó N1 com interface para a biela E7 como elemento mais solicitado (stress ratio = 99%). As análises por triangulação obtiveram sucesso apenas nos nós N5 e N7 com capacidade última de 81,6% contra 25,6% pela verificação simplificada na interface com o tirante N3. Ainda outro lado (N11) respondeu na análise detalhada com valor superior à simplificada; 80,1% contra 26,2%. A Tabela 3 e Tabela 4 expressa a armadura necessária para esta topologia:

Elemento	$F_{st}(kN)$	$f_{yd}(kN/cm^2)$	$A_{s,nec} (cm^2)$	Camada	$A_{s,ef} (cm^2)$	Stress Ratio
E1	144.9	43.5	3.33	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.905
E2	144.9	43.5	3.33	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.905
E3	72.5	43.5	1.66	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.453
E4	72.5	43.5	1.66	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.453

Tabela 3 - Tirantes Horizontais (modelo II)
Fonte: O próprio Autor (2020)

Elemento	$F_{st}(kN)$	$f_{yd}(kN/cm^2)$	$A_{s,nec} (cm^2)$	Camada	$A_{s,ef} (cm^2)$	Stress Ratio
E1	74.2	43.5	3.33	2 (1c)	2Ø12.5 mm	0.695
E2	74.2	43.5	3.33	2 (1c)	2Ø12.5 mm	0.695

Tabela 4 - Tirantes Verticais (modelo II)
Fonte: O próprio Autor (2020)

Topologia III

A terceira topologia (Figura 11) com carga de ruptura de 600 kN comporta o tirante mais solicitado (693.5 kN) e stress ratio de 100% com equilíbrio instável do esforço solicitante e esforço resistente na iminência da ruptura. Nas bielas E17 e E18 registrou-se capacidade última de 99,5%. Os Tirantes horizontais E2 e E3 na sequência da ruptura com stress ratio de 97,8% (Figura 12). Quanto aos nós; N17 por verificação simples respondeu com stress ratio 99,5% para a interface do elemento E17. Mediante refinamento; N17 rompeu antes ainda da escora E7 com tensão demandada 27% maior que a capacidade do nó.

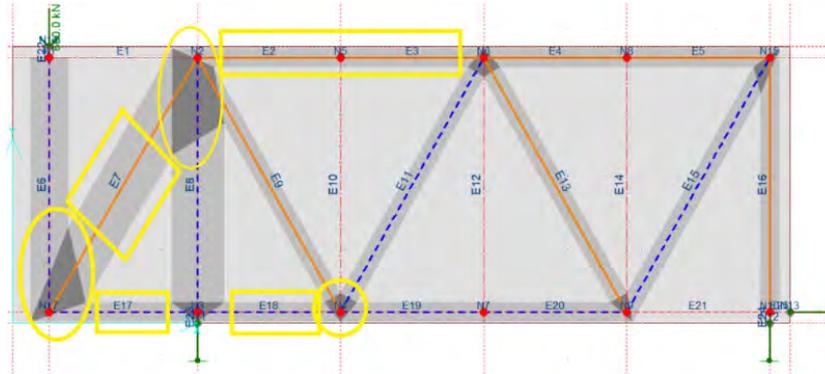


Figura 11 - Topologia das bielas e tirantes no modelo III
Fonte: O próprio Autor (2020)

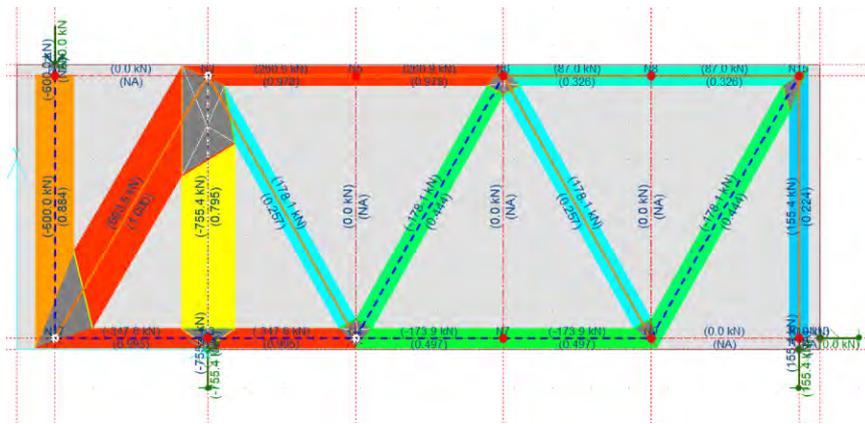


Figura 12 - Solicitações nos elementos do modelo III
Fonte: O próprio Autor (2020)

A triangulação aconteceu nos nós N2 e N3 onde os valores se aproximaram entre as duas análises nodais até aqui expostas com stress ratio 95,4% (simplificado) para o lado E8 e 93,9% na verificação detalhada. O nó N3 repetiu o mesmo padrão com valores próximos de capacidade última para ambas verificações (99,5% e 86,9%). A armadura demandada está disposta nas tabelas abaixo:

Elemento	F_{st} (kN)	f_{yd} (kN/cm ²)	$A_{s,nec}$ (cm ²)	Camada	$A_{s,ef}$ (cm ²)	Stress Ratio
E2	260.9	43.5	5.99	5 (1c)	5Ø12.5 mm	0.978
E3	260.9	43.5	5.99	5 (1c)	5Ø12.5 mm	0.978
E4	87	43.5	2	5 (1c)	5Ø12.5 mm	0.326
E5	87	43.5	2	5 (1c)	5Ø12.5 mm	0.326

Tabela 5 - Tirantes Horizontais (modelo III)
Fonte: O próprio Autor (2020)

Elemento	F_{st} (kN)	f_{yd} (kN/cm ²)	$A_{s,nec}$ (cm ²)	Camada	$A_{s,ef}$ (cm ²)	Stress Ratio
E7	693.5	43.5	15.94	9 (1c) + 4 (2c)	13 Ø12.5 mm	1.00
E9	178.1	43.5	4.09	9 (1c) + 4 (2c)	13 Ø12.5 mm	0.257
E13	178.1	43.5	4.09	9 (1c) + 4 (2c)	13 Ø12.5 mm	0.257

E16	155.4	43.5	3.57	9 (1c) + 4 (2c)	13 Ø12.5 mm	0.224
-----	-------	------	------	-----------------	-------------	-------

Tabela 6 - Tirantes Verticais (modelo III)
Fonte: O próprio Autor (2020)

Topologia IV

Este modelo com carga máxima de 250 kN mobilizou os elementos E7 (Figura 14) com capacidade última de 99,00% (biela) e tirante E1 com 90,5% (144,9 kN) conforme Figura 13 realça as barras citadas.

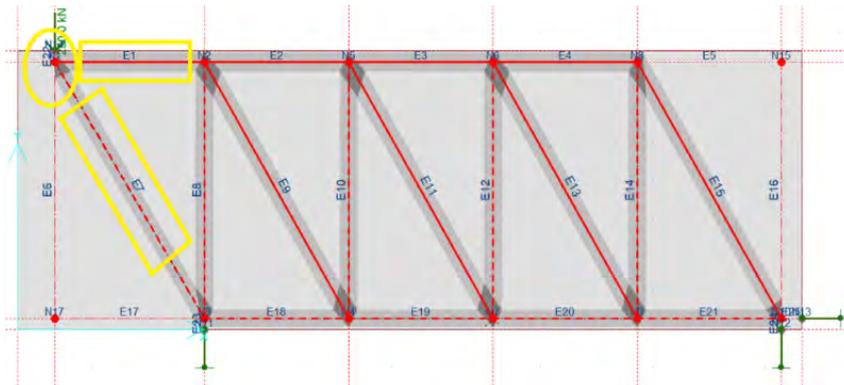


Figura 13 - Topologia das bielas e tirantes do modelo IV
Fonte: O próprio Autor (2020)

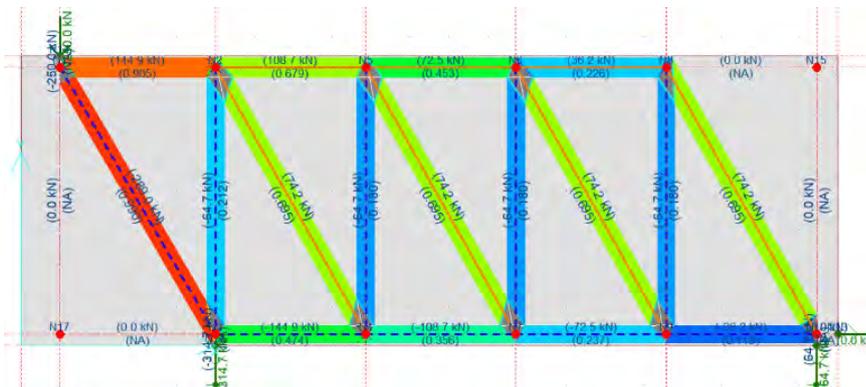


Figura 14 - Solicitações nos elementos do modelo IV
Fonte: O próprio Autor (2020)

Outros elementos não sofreram solicitações expressivas com bielas solicitadas apenas 11,9% (E21). Notou-se disparidade entre os valores dos nós N4, N7, N9 nas verificações. Em primeira análise simplificada no nó N4 na interface com o elemento E9, stress ratio de 21,9%, enquanto no processamento refinado obteve-se capacidade última de 84,5%. O nó mais demandado N1 aproximou-se da ruptura 99%. Os tirantes estão relacionados na Tabela 7 e Tabela 8.

Elemento	$F_{st}(kN)$	$f_{yd}(kN/cm^2)$	$A_{s,nec}(cm^2)$	Camada	$A_{s,ef}(cm^2)$	Stress Ratio
----------	--------------	-------------------	-------------------	--------	------------------	--------------

E1	144.9	43.5	3.33	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.905
E2	108.7	43.5	2.49	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.679
E3	72.5	43.5	1.66	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.453
E4	36.2	43.5	0.83	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.226

Tabela 7 - Tirantes Horizontais (modelo IV)
Fonte: O próprio Autor (2020)

Elemento	$F_{st}(kN)$	$f_{yd}(kN/cm^2)$	$A_{s,nec}(cm^2)$	Camada	$A_{s,ef}(cm^2)$	Stress Ratio
E9	74.2	43.5	4.09	2 (1c)	2 Ø12.5 mm	0.695
E11	74.2	43.5	4.09	2 (1c)	2 Ø12.5 mm	0.695
E13	74.2	43.5	3.57	2 (1c)	2 Ø12.5 mm	0.695
E15	74.2	43.5	3.57	2 (1c)	2 Ø12.5 mm	0.695

Tabela 8 - Tirantes Verticais (modelo IV)
Fonte: O próprio Autor (2020)

Topologia V

O quinto modelo (Figura 15) similar ao anterior suportou uma carga última de 250 kN. Abaixo destaca-se E7 com razão de 99% e tirante E1 permanecendo logo abaixo com 90,5% (Figura 16). Dada a semelhança ao anterior, não houve mudanças significativas de solicitações nos tirantes horizontais e verticais que mantiveram a mesma magnitude de forças solicitantes (Tabela 9 e Tabela 10)

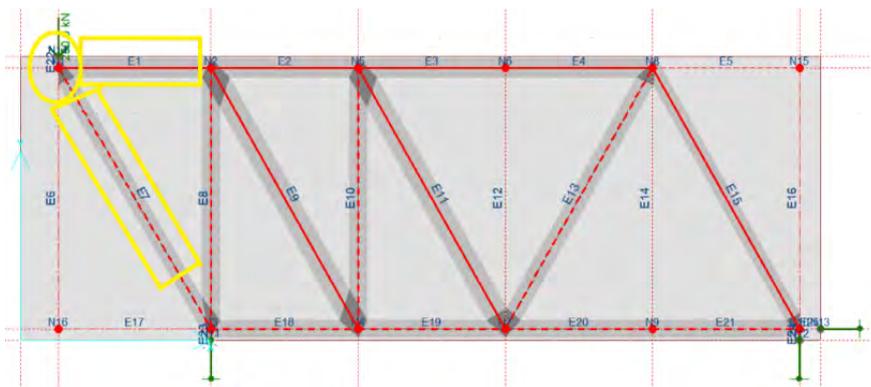


Figura 15 - Topologia das bielas e tirantes no modelo V
Fonte: O próprio Autor (2020)

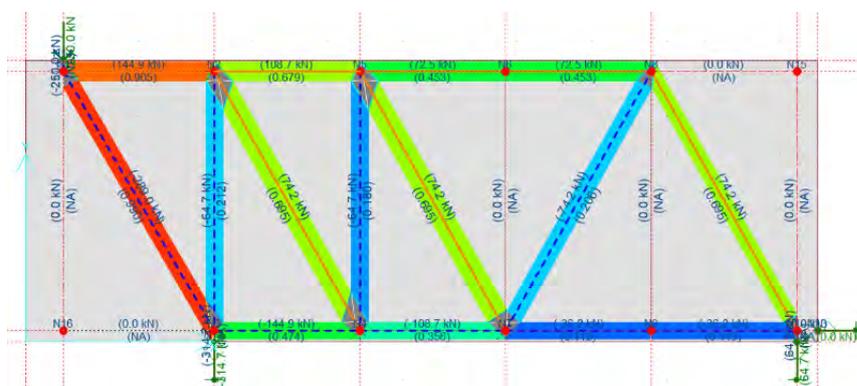


Figura 16 - Solicitações nos elementos do modelo V
Fonte: O próprio Autor (2020)

Elemento	F_{st} (kN)	f_{yd} (kN/cm ²)	$A_{s,nec}$ (cm ²)	Camada	$A_{s,ef}$ (cm ²)	Stress Ratio
E1	144.9	43.5	3.33	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.905
E2	108.7	43.5	2.49	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.679
E3	72.5	43.5	1.66	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.453
E4	36.2	43.5	0.83	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.453

Tabela 9 - Tirantes Horizontais (modelo V)
Fonte: O próprio Autor (2020)

Elemento	F_{st} (kN)	f_{yd} (kN/cm ²)	$A_{s,nec}$ (cm ²)	Camada	$A_{s,ef}$ (cm ²)	Stress Ratio
E9	74.2	43.5	4.09	2 (1c)	2 Ø12.5 mm	0.695
E11	74.2	43.5	4.09	2 (1c)	2 Ø12.5 mm	0.695
E15	74.2	43.5	3.57	2 (1c)	2 Ø12.5 mm	0.695

Tabela 10 - Tirantes Verticais (modelo V)
Fonte: O próprio Autor (2020)

Topologia VI

O modelo VI (Figura 17) alternando a direção dos membros rompeu com carga de 250 kN. Na Figura 18 visualiza-se as parcelas mais solicitadas; E7 com percentagem de 99% e tirante E1 permanecendo logo abaixo com 90.5%.

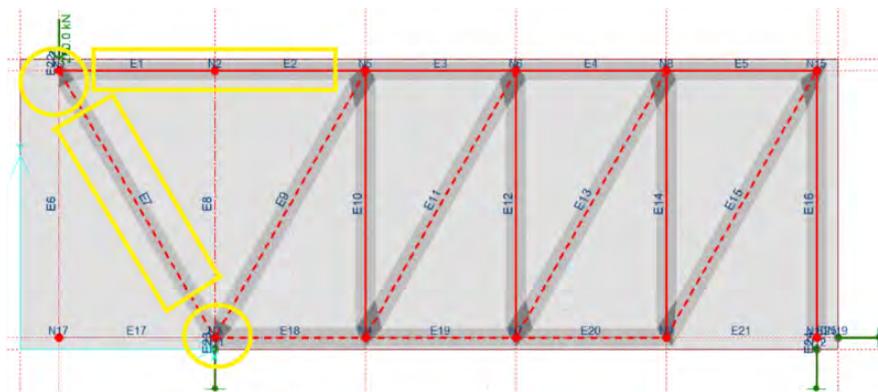


Figura 17 - Topologia das bielas e tirantes no modelo VI
Fonte: O próprio Autor (2020)

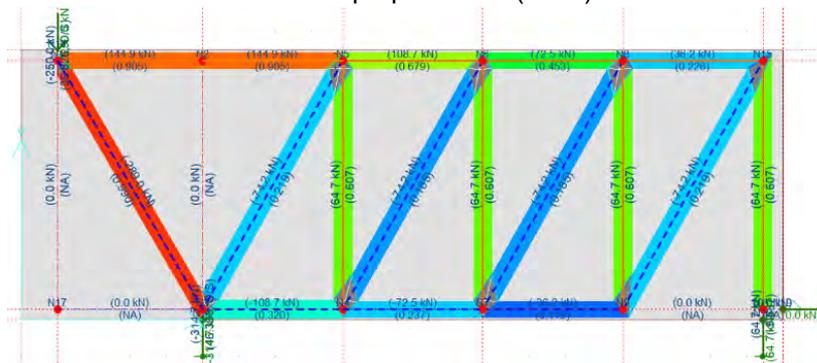


Figura 18 - Solicitações nos elementos do modelo VI
Fonte: O próprio Autor (2020)

A ruptura mencionada deve-se aos nós N1 e N3 pois mediante análise detalhada responderam com stress ratio de 112,1% e 215,4%. As verificações menos refinadas resultaram em percentagem de 368,26% e 83,9 %. A tabela 11

e 12 mostra a área de aço estimada.

Elemento	F_{st} (kN)	f_{yd} (kN/cm ²)	$A_{s,nec}$ (cm ²)	Camada	$A_{s,ef}$ (cm ²)	Stress Ratio
E1	144.9	43.5	3.33	3 (1c)	3 Ø12.5 mm	0.905
E2	144.9	43.5	3.33	3 (1c)	3 Ø12.5 mm	0.905
E3	108.7	43.5	2.49	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.679
E4	72.5	43.5	1.66	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.453
E5	36.2	43.5	0.83	3 (1c)	3Ø12.5 mm	0.226

Tabela 11 - Tirantes Horizontais (modelo VI)
Fonte: O próprio Autor (2020)

Elemento	F_{st} (kN)	f_{yd} (kN/cm ²)	$A_{s,nec}$ (cm ²)	Camada	$A_{s,ef}$ (cm ²)	Stress Ratio
E10	64.7	43.5	1,48	2 (1c)	2 Ø12.5 mm	0.607
E12	64.7	43.5	1,48	2 (1c)	2 Ø12.5 mm	0.607
E14	64.7	43.5	1,48	2 (1c)	2 Ø12.5 mm	0.607
E16	64.7	43.5	1,48	2 (1c)	2 Ø12.5 mm	0.607

Tabela 12 - Tirantes Verticais (modelo VI)
Fonte: O próprio Autor (2020)

A tabela 13 sumariza os valores máximos de stress ratio para cada modelo seja a compressão (-) e positivo (+). As taxas de armadura (área de aço/área de concreto) de cada viga consideram apenas as áreas de aço dos tirantes verticais e horizontais não englobando ancoragens, estribos e armadura de pele. Na Figura 19 é fácil a percepção da performance de cada modelo inclusive qual elemento atinge a ruptura consecutivamente.

Topologia	Stress Ratio Max (-)	Stress Ratio Max (+)	Taxa de armadura
I	.706	.891	1,378%
II	.990	.905	0,229%
III	.995	1	1,96%
IV	.990	.905	0,361%
V	.990	.905	0,295%
VI	.990	.905	0,361%

Tabela 13 - Comparativo stress ratio e taxa de armadura
Fonte: O próprio Autor (2020)

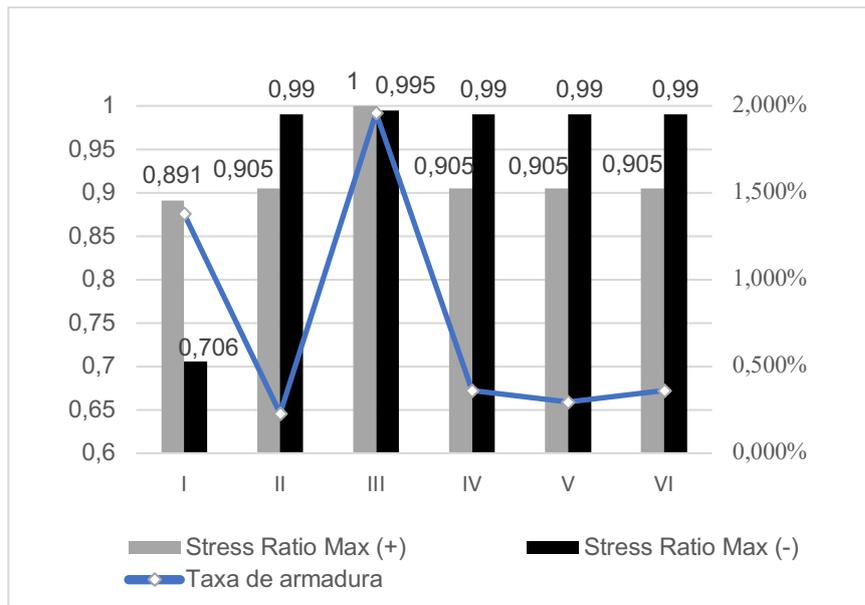


Figura 19 - Gráfico comparativo stress ratio e taxa de armadura
 Fonte: O próprio Autor (2020)

5 CONCLUSÕES

Houve convergência de valores nos modelos II, IV, V e VI em virtude da similaridade das topologias. Às vigas remanescentes além de apresentarem valores de ruptura distintos, demandaram áreas de aço superiores. No entanto, estas vigas (I e III) atingiram escoamento do tirante antes do esmagamento da biela de concreto.

Dada a recorrência de projetos de edificações na divisa e a necessidade de análises fidedignas, o método de bielas e tirantes tem sido efetivo no dimensionamento de regiões descontinuas. O uso do CAST agiliza a verificação e poderá ser empregada em outros cálculos como vigas pré-fabricadas. Está provado que o usuário deve dispor de suporte teórico e experiência para considerar o correto encaminhamento das cargas bem como aspectos construtivos e econômicos, pois a ferramenta não gera automaticamente a topologia ótima. Assim, erros como cruzamento do caminho de cargas, quando cometidos, induzem a representações não realistas. A presença de armadura inclinada pode implicar em redução de produtividade na execução, fator a ser considerado. Como citado, análise criteriosa deve ser efetuada nos nós, optando, se possível, para uma verificação refinada. Por fim, o uso do CAST para ensino de STM é recomendado posto sua facilidade e didática.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, V. S., SIMONETTI, H. L., NETO, L. O., **Análise de modelos de bielas e tirantes para estruturas de concreto armado via uma técnica numérica.** IBRACON Structures and Materials Journal, v. 6, n. 1, p. 139-157, fevereiro. 2013.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto –Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- GIONGO, J. S., SANTOS, D., **Análise de vigas de concreto armado utilizando modelos de bielas e tirantes.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 10, n. 46, p. 61-90, 2008.
- MARTI, P. (1985). **Basic tools of reinforced concrete beam design.** ACI Journal. Proceedings. Vol. 82, N° 1. January-February. P. 45-56
- PANTOJA, J. C., **Geração automática via otimização topológica e avaliação de segurança de modelos de bielas e Tirantes.** Tese (Doutorado), Pontifícia Universidade Católica/PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.
- SANTOS, D. **Análise de vigas de concreto armado utilizado modelo de bielas e tirantes.** Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos/EESC, São Carlos, SP, Brasil, 2006.
- SCHLAICH, J., SCHÄFER, K., e JENNEWEIN, M., **Toward a Consistent design of Structural Concrete.** PCI Journal/May-June, 1987.
- SILVA, R. C., **Concreto Armado: Aplicações de modelos de bielas e tirantes.** Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos/EESC, São Carlos, SP, Brasil, 1991.
- SOUZA, R. A., **Aplicação do Método dos Elementos Finitos e do Método das Bielas na Análise de Blocos Rígidos Sobre Estacas.** Relatório de estagio (pós-doutoral), University of Illinois at Urbana-Champaign, Paraná, PR, Brasil, 2006.
- SOUZA, R. A., **Concreto estrutural: análise e dimensionamento de elementos com descontinuidades.** Tese (Doutorado), Escola Politécnica/USP, São Paulo, SP, Brasil, 2004.
- TANNO, D. S., **Blocos de concreto sobre estacas posicionados nas divisas de terrenos: estudo analítico e análise numérica linear.** Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos/EESC, São Carlos, SP, Brasil, 2012.
- WIGHT, J. K., **Reinforced Concrete Mechanics and Design.** 7th ed. Hoboken, New Jersey, Pearson Education, Inc., 2016.

TEMA 2: SUSTENTABILIDADE, QUALIDADE E EFICIÊNCIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Controle e avaliação ambiental integrada e tecnologias eficientes para projeto, construção, operação e reabilitação de edificações e áreas urbanas, revitalização da paisagem. Planejamento estratégico e gestão ambiental urbana e infraestrutura. Condições bioclimáticas e tradições culturais. Qualidade de vida urbana, desempenho ambiental e eficiência: energia, água, materiais e resíduos.

Artigos:

- VI. *Edificações De Porte Monumental De Arquitetura Modernista: Uma Contribuição Para A Avaliação Acústica*
Oliveira, A.; Pantoja, J.; Silva, C.; Buzar, M.
- VII. *Técnicas De Auditoria Do Consumo De Água: Relatos De Experiência Em Campo*
Alcantara, I.; Pazos, V.; Boeger, L.; Sant'Ana, D.
- VIII. *Elaboração De Algoritmo De Uso E Ocupação Do Solo Para Terrenos Do Distrito Federal - Brasil*
Simões, R.; Pantoja, J.
- IX. *Aproveitamento de águas pluviais em edificações públicas: o caso da procuradoria geral da república*
Galimi, S.; Pantoja, J.
- X. *Análise De Uma Cobertura Paramétrica De Bambu Composta Por Paraboloides Hiperbólicos*
Quadros, V.; Pantoja, J.
- XI. *Análise Da Ventilação Natural E Da Qualidade Do Ar Interno: Hospitais Sarah Brasília E Sarah Lago Norte*
Sancho, T.; Pantoja, J.; Silva, J.

VI

**EDIFICAÇÕES DE PORTE MONUMENTAL DE ARQUITETURA
MODERNISTA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A AVALIAÇÃO ACÚSTICA**

**MONUMENTAL BUILDINGS OF MODERNIST ARCHITECTURE:
A CONTRIBUTION FOR ACOUSTIC EVALUATION**

Ana Luiza Alves de Oliveira

Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação – PPG-FAU
Brasília – DF, Brasil.

analuiza.aoliveira@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1976-2497

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação – PPG-FAU
Brasília – DF, Brasil.

engclaricedaga@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0514-4818

Clarice C. D. da Silva

Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação – PPG-FAU
Brasília – DF, Brasil.

joaocpantoja@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0763-0107

Márcio Augusto R. Buzar

Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação – PPG-FAU
Brasília – DF, Brasil.

marcio.buzar@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1164-2784

Resumo: Seja em casa, no lazer ou no trabalho o conforto ambiental é essencial para melhor desfrute da atividade em questão. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo verificar as condições de conforto acústico em edificações de porte monumental de arquitetura modernista, locais com grande tráfego de pessoas, analisando se elas atendem aos requisitos mínimos exigidos pela norma de desempenho e outras normas pertinentes e se as premissas de projeto foram cumpridas. Como estudo de caso, avaliou-se o Restaurante Universitário (RU) e a Biblioteca Central (BCE) da Universidade de Brasília. Para isso, foi feita uma entrevista com o projetista dessas construções, o arquiteto Dr. José Galbinski, na qual foram identificadas as premissas de projeto. Através da aplicação de questionários as percepções dos usuários foram detectadas. E, por fim, medições in loco avaliaram o nível de isolamento sonoro dos ambientes. Com o estudo, concluiu-se que, na biblioteca central, quanto ao isolamento sonoro de impacto, seu desempenho foi superior ao exigido pela ABNT NBR 15.575 e que as premissas de projeto foram atendidas. Já no RU essas premissas não foram alcançadas, já que o nível de ruído medido no local era maior que o recomendado pelas normas brasileiras e os seus usuários consideraram o local barulhento.

Palavras-Chave: Conforto acústico; Monumentos; Arquitetura modernista; José Galbinski; Desempenho.

Abstract: Studies show that for good quality and productivity at work, the environmental comfort is essential. Therefore, the objective of this paper is to verify the acoustic conditions in monumental buildings of modernist architecture, analyzing whether they achieved the requirements demanded by the Brazilian performance code (ABNT NBR 15.575) and other pertinent codes, and if the project assumptions were reached. As case study, the University Restaurant (RU) and the Central Library (BCE) of University of Brasília were evaluated. Therefore, the project premises were identified through an interview with the designer architect, Dr. José Galbinski. Through the application of questionnaires, the perceptions of the users were detected. Finally, on-site measurements were performed. The study concluded that in BCE, regarding impact sound insulation, its performance was superior than the required by ABNT NBR 15.575 and that the design premises in relation to acoustic comfort were achieved. In the university restaurant, these premises were not reached, since the noise level measured in the place was higher than the one recommended by the Brazilian codes and its users considered the place noisy.

Keywords: Acoustic comfort; Monuments; Modernist architecture; José Galbinski; Performance.

1. INTRODUÇÃO

Em edificações de Porte Monumental, que possuem características bastante diferentes das residenciais, há um grande número de pessoas que transitam por elas diariamente, seja como usuário ou como trabalhador. Essas são obras que são construídas para serem utilizadas por longos períodos, como por séculos e até mesmo por milênios. Com o passar do tempo as premissas de projeto referentes a esse tema, pensadas pelo arquiteto projetista, podem ficar defasadas pois o clima e as características do local e de uso estão em constante mudança.

Sendo assim, há a necessidade de estudar o conforto ambiental de tempos em tempos dessas edificações para verificar se é necessário reformas ou atualizações dos projetos originais, a fim de garantir o bem-estar do usuário. No que diz respeito ao ambiente universitário, essa necessidade é ainda mais evidente, uma vez que os alunos, professores e servidores precisam de um ambiente confortável para que os alunos aprendam melhor e para que os professores e servidores trabalhem com maior eficiência.

A palavra acústica vem do grego *akoustikos* e significa a ciência do som. O conforto acústico é componente essencial para que um local apresente conforto ambiental. A sua ausência em edificações residenciais e comerciais é prejudicial aos seus usuários, podendo trazer consequências negativas à saúde, vida social

e profissional. Apesar de indispensável para o bem-estar, muitas vezes esse item é negligenciado pelas construtoras, vindo a ser tratado pelo próprio comprador somente após a entrega do empreendimento. Reparar essa ausência de tratamento acústico após a finalização da obra é muito mais oneroso e trabalhoso, sendo que o apropriado é esse item ser planejado ainda na fase de projeto. Com o advento da NBR 15.575 - Norma Desempenho (ABNT, 2013), que estabelece parâmetros de desempenho para edificações residenciais em vários quesitos, incluindo o quesito acústico, esse comportamento das construtoras tende a mudar. A necessidade de haver um bom isolamento acústico entre unidades residenciais individuais e entre unidades individuais e áreas comuns se tornou mandatória.

Por se tratar de uma percepção humana, o conforto acústico pode ser encarado como um conceito subjetivo, pois o que é considerado ruído para um pode ser som para outros e vice-versa. Entretanto cada vez mais essa subjetividade tem sido trazida para parâmetros de caráter objetivo e mensurável e, com o auxílio de normas, ensaios in loco e simulações computacionais pode-se realizar essas medições. Ciente disso, o presente artigo possui o objetivo principal de verificar as condições de conforto acústico de edificações de porte monumental, com estudo de caso na Biblioteca Central (BCE) e Restaurante Universitário (RU) da Universidade de Brasília (UnB) – locais com grande fluxo de pessoas, analisando se elas atendem aos requisitos mínimos exigidos pela NBR 15.575: Norma de Desempenho (ABNT, 2013), pela NBR 10.151: Acústica – Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento (ABNT, 2000) e pela NBR 10.152: Níveis de Ruído para Conforto Acústico (ABNT, 1987).

Ademais, verificou-se se o conforto acústico atende às premissas de projeto, premissas essas angariadas em uma entrevista com o arquiteto projetista das edificações, Dr. José Galbinski, e coletou-se a perspectiva de conforto do usuário através de questionários. Dessa maneira, um primeiro passo é dado para a criação de normas regulamentadoras de desempenho mínimo quanto ao conforto ambiental para edificações com arquiteturas e técnicas construtivas tão diferentes das residenciais.

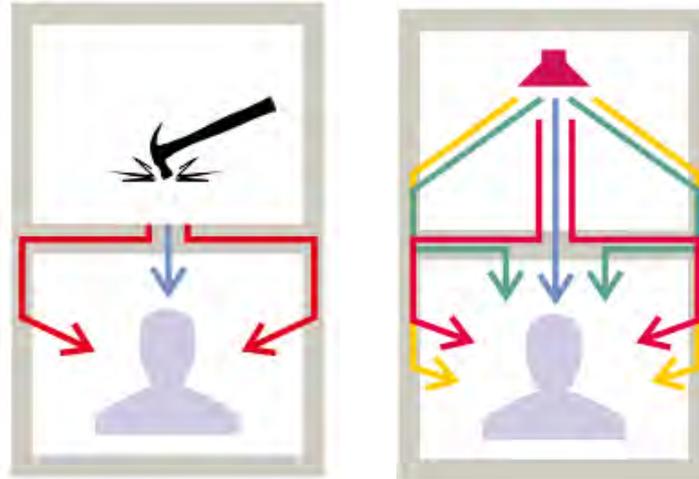
2. CONFORTO ACÚSTICO

Por se tratar de uma percepção humana, o conforto acústico pode ser encarado como um conceito subjetivo, pois o que é satisfatório para um não necessariamente é para os outros. Porém, cada vez mais essa subjetividade tem sido trazida para parâmetros de caráter objetivo e mensurável, assim como é feito pela NBR 15.575 (ABNT, 2013) e pela NBR 15.152 (ABNT, 1987). Sendo assim, alguns conceitos relevantes serão apresentados a seguir neste item.

2.1. Som e Ruído

No que diz respeito ao conforto acústico, vale destacar a diferença entre som e ruído. De acordo com Greven (2006), “som é a sensação auditiva ocasionada pela vibração de partículas de ar transmitida ao aparelho auditivo humano. É uma transmissão aérea”. A música, por exemplo, é uma sequência de sons agradáveis. Já o ruído, segundo Fregonesi e Lopes (2006), “é um tipo de energia proveniente de processos ou atividades e que se propaga no ambiente em forma de ondas, desde o ponto produtor até o receptor a uma determinada velocidade, diminuindo sua intensidade com a distância e o meio físico”. O ruído, quando ocorre de maneira intensa e ininterrupta causa tensão, reduz a resistência física do homem e inibe a concentração mental. Essencialmente um é agradável aos ouvidos e o outro não.

Dois tipos de ruído podem ser transmitidos: o de impacto e o aéreo. O ruído de impacto se propaga pela estrutura da edificação e alcança a velocidade de 4.000 a 6.000 m/s. São exemplos desse tipo de ruído os passos dos vizinhos, máquinas de elevadores e centrais de ar condicionado. De modo geral, segundo Pierrard e Akkerman (2013), a transmissão do ruído de impacto entre dois andares sobrepostos ocorre através do próprio sistema de piso, que é uma via de transmissão direta, e através dos elementos laterais ou paredes, que são quatro vias de transmissão indiretas. Já o ruído aéreo é todo aquele que se propaga pelo ar e sua velocidade é de aproximadamente 340 m/s. Segundo os mesmos autores ele ocorre também através de uma via de transmissão direta, que é o próprio piso, porém são agora doze vias de transmissão indireta, que são os elementos laterais ou paredes. As músicas dos bares, barulho do trânsito e conversas são exemplos de ruídos aéreos. A Figura 1 mostra esquematicamente esses ruídos.

Figura 1: Forma de transmissão de ruído de impacto e aéreo, respectivamente.

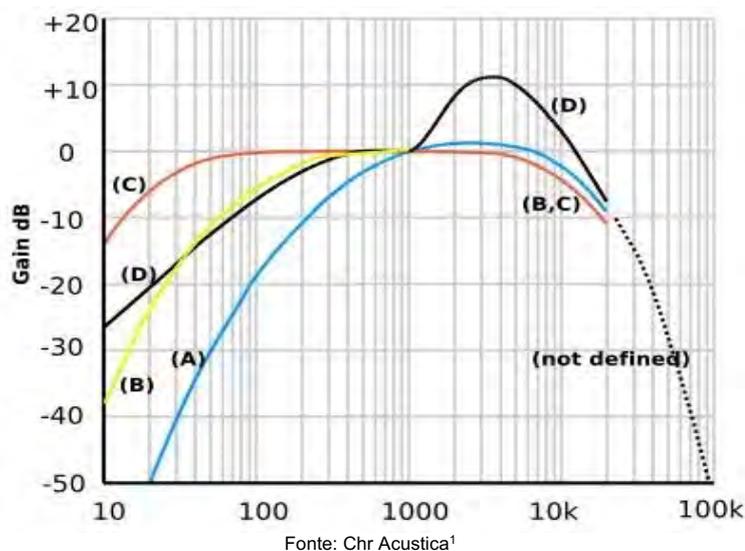
Fonte: Pierrard e Akkerman (2013)

2.2. Nível de Pressão Sonora

Uma das maneiras de caracterizar o som, junto com frequência do som e o timbre. Também conhecido como nível sonoro, é através de equipamentos medidores específicos que é obtido e determina a intensidade sonora real comparando-a a um nível de referência. As normas brasileiras e internacionais o definem como nível de pressão acústica (L_p) e é expresso em dB (decibel).

O ouvido humano não responde igualmente a todas as frequências, ainda que elas estejam no mesmo nível de pressão sonora, sendo que a sua audibilidade depende da frequência do som. O ouvido responde melhor ao ruído de alta frequência (agudo) que ao ruído de baixa frequência (grave). Esse fato foi testado e provado experimentalmente e existem vários estudos sobre o assunto. Contudo um aparelho que mede a intensidade sonora não tem essa limitação. Posto isso, para que o aparelho leia os sons de modo similar ao ouvido humano, é necessária uma adaptação da leitura do equipamento eletrônico. Essa adaptação é feita com o auxílio de curvas de compensação traçadas experimentalmente. Essas curvas são chamadas de curvas de ponderação e foram designadas pelas letras A, B, C e D, que estão representadas na Figura 2 (CABRAL, 2012). Segundo especialistas, a curva A é a mais utilizada por ser a que mais se aproxima do ouvido humano e foi também a utilizada na presente pesquisa.

Figura 2: Curvas de Ponderação.



Algumas abreviações relevantes serão mostradas a seguir.

- **LA:** nível de pressão sonora na ponderação A.
- **LAeq:** nível de pressão sonora equivalente. É o nível que, na hipótese de poder ser mantido constante durante o período de medição, acumularia a mesma quantidade de energia acústica que os diversos níveis variáveis acumulam no mesmo período em dB(A). (ABNT Projeto 02:135.01-004). Ainda segundo esse projeto, para determinar o L_{Aeq} é necessário um medidor de nível sonoro que possua essa função. Caso o medidor não o meça, ele deve ser calculado através de uma fórmula que também consta nesse projeto.

A maioria dos medidores de nível de som tem duas ponderações de tempo convencionais: rápida (fast) e lenta (slow). Enquanto a ponderação rápida é com tempo constante de 125 ms, a lenta é com ponderação constante de 1 s. Isso ocorre pois, nos tempos em que as medições eram feitas de modo analógico, essas ponderações de tempo eram feitas para que o operador pudesse seguir as rápidas flutuações do medidor visualmente (GRACEY & ASSOCIATES, 2016). Em posse dessas informações, é possível fazer as definições a seguir.

- **LAF:** nível sonoro apurado na ponderação A, medido com ponderação rápida.
- **LAFmax:** máximo nível sonoro apurado na ponderação A, medido

¹ Disponível em <http://chracustica.zip.net/arch2008-09-07_2008-09-13.html>

com ponderação rápida.

- **LAFmin:** mínimo nível sonoro apurado na ponderação A, medido com ponderação rápida.
- **LAS:** nível sonoro apurado na ponderação A, medido com ponderação lenta.
- **LASmax:** nível sonoro apurado na ponderação A, medido com ponderação lenta.
- **LASmin:** nível sonoro apurado na ponderação A, medido com ponderação lenta.
- **L'nTw:** nível de pressão sonora de impacto ponderado. É um número único que caracteriza o isolamento de som de impacto de pisos.

3. REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Normas técnicas foram usadas como referências para o desenvolvimento e medições que constam no presente trabalho. São elas:

- ABNT NBR 10.151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade;
- ABNT NBR 10.152: Níveis de ruído para conforto acústico;
- ABNT NBR 15.575: Norma de Desempenho.

Detalhes dessas normas serão expostos a seguir.

3.1. NBR 10.151: Acústica – Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento (ABNT, 2000)

Esta norma possui o objetivo de “fixar as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independentemente da existência de reclamações” (ABNT NBR 10.151, 2000). Ela determina o método a ser utilizado para a medição de ruídos e as correções necessárias sobre os níveis medidos utilizando um equipamento medidor de nível de pressão sonora.

No caso de medições no interior de edificações, elas devem ser efetuadas a 1 m de distância de qualquer superfície como paredes, teto, pisos e móveis. A norma ainda afirma que os níveis de pressão sonora devem ser o resultado da média aritmética dos valores auferidos em, no mínimo, três posições distintas afastadas entre si pelo menos 0,5 m e que as medições devem ser efetuadas nas condições de utilização normal do ambiente.

3.2. NBR 10.152: Níveis de Ruído para Conforto Acústico (ABNT, 1987)

Esta norma objetiva “fixar os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos” (ABNT NBR 10.152, 1987). Ou seja, apresenta os valores parâmetro para a medição de ruído realizada conforme a NBR 10.151 (ABNT, 2000). A Tabela 1 apresenta os valores parâmetro de pressão sonora recomendados para escolas e restaurantes em dB, ou seja, o nível máximo de ruído admitido, que são os ambientes que interessa ao artigo. Vale ressaltar que, por não haver o item “restaurante universitário”, usou-se como referência a categoria “restaurantes”, que é o que mais se aproxima. Nota-se que o ruído máximo aceito pela norma em bibliotecas é de 45 dB e em restaurantes de 50 dB.

Tabela 1: Nível de ruído recomendado para ambiente.

LOCAIS	L_{ra} (dB)
Escolas	
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 - 45
Salas de aula, Laboratórios	40 - 50
Circulação	45 - 55
Restaurantes	
Restaurantes	40 - 50

Notas: a) O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade
 b) Níveis superiores aos estabelecidos nesta Tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde.

Fonte: ABNT NBR 10.152 (1987)

3.3. NBR 15.575: Norma de Desempenho (ABNT, 2013)

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) estipula critérios para os ruídos de impacto aplicado sobre lajes sejam atenuados e para que ocorra um bom isolamento ao som aéreo do piso, da fachada e da cobertura ao som aéreo. Leva ainda em consideração a necessidade de um bom isolamento acústico de paredes entre unidades individuais e de paredes divisórias entre áreas comuns e unidades individuais. Nessa edição da norma não foram determinados requisitos para o isolamento acústico entre cômodos de uma mesma unidade habitacional.

A presente norma não trata sobre máximos níveis de admitidos, assunto já tratado na ABNT NBR 10.151 e ABNT NBR 10.152. Contudo, ela trata sobre o nível de pressão sonora contínuo equivalente ($L_{Aeq,nT}$) e o nível de pressão sonora máximo ($L_{ASmáx.,nT}$) admitidos nos dormitórios das unidades habitacionais

com portas e janelas fechadas, para quando os equipamentos prediais estiverem em funcionamento. Os níveis de desempenho superior, intermediário e mínimo são apresentados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Valores máximos de pressão sonora contínuo equivalente e máximo medidos em dormitórios.

Desempenho	$L_{Aeq,nT}$	$L_{ASmáx.,nT}$
Superior	≤ 30	≤ 36
Intermediário	≤ 34	≤ 39
Mínimo	≤ 37	≤ 42

Fonte: ABNT NBR 15.575-1

No que diz respeito ao ruído de impacto (L'_{nTw}), a Parte 3 da Norma de Desempenho – requisitos para os sistemas de piso - apresenta o desempenho mínimo, intermediário e superior desejado para essa avaliação.

Tabela 3: Critério e nível de pressão sonora de impacto ponderado, L'_{nTw} .

ELEMENTO	DESEMPENHO	L'_{nTw} (dB)
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos.	Mínimo	66 a 80
	Intermediário	56 a 65
	Superior	≤ 55
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas.	Mínimo	51 a 55
	Intermediário	46 a 50
	Superior	≤ 45

Fonte: ABNT NBR 15.575-3.

4. ESTUDOS DE CASO: BIBLIOTECA CENTRAL E RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UNB

Para atingir os objetivos do trabalho, duas edificações de porte monumentais foram estudadas: a Biblioteca Central (BCE) e o Restaurante Universitário (RU) da Universidade de Brasília (UnB), ambas projetadas pelo Dr. José Galbinski, graduado em 1957 em arquitetura e urbanismo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e obteve o título de Ph.D. em 1978 pela Cornell University. Uma breve descrição dessas obras será feita nos tópicos que seguem.

4.1. Biblioteca Central da UnB

Inaugurada em 1973, o projeto da Biblioteca Central da UnB (Figura 3) foi

feito pelo arquiteto José Galbinski que a desenhou ocupando uma área total de 16.000 m² para 750 mil volumes. Era da vontade do projetista que essa edificação possuísse porte monumental devido à importância de uma biblioteca para a universidade. Vale ressaltar que, por monumental, ele não desejava que a edificação fosse grande, mas sim que fosse marcante e possuísse presença, de modo que fosse um prédio simbólico que representasse a cultura da universidade.

Figura 3: Biblioteca Central da Universidade de Brasília.



Fonte: Santos (2013)

4.2. Restaurante Universitário da UnB

O Restaurante Universitário teve seu projeto entregue em 1972 e sua inauguração em 1975. Esse foi o primeiro restaurante universitário construído com essa finalidade no Brasil e tornou-se referência para os demais que vieram a seguir. Atualmente, o restaurante serve seis mil refeições diárias. De acordo com Lima (2013), sua área construída é de 6.300 m² em 4 pavimentos que contemplam: 1 cozinha central, 6 refeitórios, 6 cozinhas-minuto, 1 restaurante executivo, 8 pontos de caixa, 1 guarda-volumes e sanitários.

Figura 4: Restaurante Universitário da UnB na década de 70.



Fonte: arquivo pessoal Prof. Dr. Galbinski.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Visando cumprir os objetivos já descritos para o presente artigo, a metodologia é composta por três itens: entrevista com o projetista, aplicação do questionário e medições in loco. Detalhes sobre os procedimentos e resultados serão expostos a seguir.

5.1. Entrevista com o Projetista: Obtenção das Premissas de Projeto

De acordo com o dicionário Michaelis, uma entrevista é uma “reunião entre duas ou mais pessoas, em local determinado, com objetivo de esclarecer assuntos pendentes, expor ideias ou obter opiniões dos presentes”. Foi através de uma entrevista em maio de 2016 com o Dr. Galbinski que as premissas de projeto no que tange ao conforto acústico das edificações de estudo de caso foram obtidas. Ressalta-se que, na época da construção, não era procedimento padrão a contratação de um especialista em acústica para garantir o seu conforto, ficando essa função por diversas vezes como responsabilidade do próprio arquiteto.

5.1.1. Biblioteca Central da UnB

Em uma biblioteca o conforto acústico é fundamental, uma vez que seus usuários buscam estudar, o que requer concentração e silêncio. Isto posto, para garanti-lo, como premissa de projeto Galbinski planejou uma série de pirâmides truncadas feitas com um material isolante acústico no forro da biblioteca, de modo que a reverberação de som fosse eliminada ou, no mínimo, diminuída. A Figura 5 mostra esse forro.

Figura 5: Pirâmides truncadas no forro da biblioteca.



Fonte: autora

5.1.2. Restaurante Universitário da UnB

Visando conforto acústico do restaurante universitário, o arquiteto

aproveitou-se da laje nervurada e empregou um material isolante acústico sob as nervuras da laje que absorvia o som, impedindo a reverberação. Entretanto, esse material não foi aplicado em todas as nervuras pois, nas nervuras em que as lâmpadas de iluminação foram instaladas, uma pintura epóxi branca foi aplicada para refletir a luz, ampliando o alcance do seu brilho em busca do conforto lumínico. Para essa pesquisa não foi possível descobrir qual o material de isolamento acústico aplicado tanto no RU quanto na BCE.

5.2. Avaliação da Percepção dos Usuários

Questionários foram aplicados aos usuários das edificações monumentais estudadas para que suas percepções fossem captadas. As perguntas e respostas encontram-se a seguir, com suas respectivas avaliações.

5.2.1. Biblioteca Central

Foram aplicados 51 questionários no total no dia 21/09/2016 (quarta-Feira), sendo 26 deles entre as 15h - 16h da tarde e 25 entre as 19h – 20h. Esses horários foram escolhidos por serem considerados os de pico do local, no período diurno e noturno, respectivamente. A média de idade dos usuários participantes foi de 25,14 anos. A Tabela 4 apresenta as perguntas e os resultados encontrados.

Tabela 4: Percepção do conforto acústico dos usuários da BCE

Pergunta	Resposta	Total (%)	Diurno (%)	Noturno (%)
1 - Existem sons que influenciam na sua concentração?	Sim	61	54	68
	Não	39	46	32
2 - Em caso afirmativo da questão anterior, esta influência é:	Positivo	4	0	22
	Negativa	35	23	31
	Nem positiva, nem negativa	22	48	12
3 - Os sons que você identificou na questão anterior são de:	Trânsito de veículos	2	0	4
	Atividades no exterior do ambiente	29	27	32
	Conversas no ambiente	35	38	32
	Ruído no ambiente	33	31	36
	Outro	6	4	8

Fonte: autora

Ao avaliar a Tabela 4 nota-se que, nos dois turnos, mais da metade dos usuários perceberam a existência de sons que influenciam na concentração. Enquanto no período diurno apenas 23% achou essa interferência negativa, a noite o valor sobe para 48%. Uma possível explicação é que, por ser mais

silencioso e calmo durante esse período, os barulhos considerados ruídos são mais notados.

Analisando o gráfico, percebe-se que conversas e ruídos no interior do ambiente foram os sons mais identificados, somando cerca de 65% dos usuários. Menos de 31% reconheceram sons do exterior do ambiente e trânsito de veículos. Dentro da resposta “outros”, os usuários responderam que ouviam sons dos trabalhos da organização, pássaros, ventos e também o barulho de salto alto. Sendo assim, pode-se concluir que o conforto acústico da biblioteca é bom, pois sons de fora do ambiente foram notados por menos 30% dos estudantes e servidores. Ademais, somente 35% notou ruídos no interior do ambiente sendo possível dizer que as premissas de projeto no que diz respeito ao conforto acústico do arquiteto foram alcançadas.

5.2.2. Restaurante Universitário

A seguir, na Tabela 5, serão expostos as perguntas, respostas e resultados encontrados no questionário aplicado no dia 13/09/2016, também uma quarta-feira, no Restaurante Universitário da UnB para que a avaliação da percepção do usuário seja feita. Foram aplicados 50 questionários no total, sendo 25 deles entre às 12:00 h – 12:30 h da tarde e 25 entre às 18:30h – 19:00h. Esses horários foram escolhidos por serem considerados os de pico do local, no período diurno e noturno, respectivamente. A média de idade dos 50 usuários participantes foi de 24,65 anos.

Tabela 5: Percepção do conforto acústico do usuário do RU

Pergunta	Resposta	Total (%)	Diurno (%)	Noturno (%)
1 - Existem sons que influenciam na altura da conversa?	Sim	94	96	92
	Não	6	4	8
2 - Em caso afirmativo da questão anterior, esta influência é:	Positivo	2	4	24
	Negativa	68	60	32
	Nem positiva, nem negativa	24	76	16
3 - Os sons que você identificou na questão anterior são de:	Trânsito de veículos	6	0	12
	Atividades no exterior do ambiente	14	8	20
	Conversas no ambiente	86	96	76
	Outro	16	8	24
4 - Você ouve e compreende bem a voz de com quem está conversando?	Sim	34	20	48
	Não	4	4	4
	Mais ou menos	60	72	48
	Não estou conversando	2	4	0

Fonte: autora

Nota-se através Tabela 5 que mais de 90% dos usuários notaram sons que influenciam na altura da conversa não importando o período analisado, sendo a maioria dessa influência negativa. Isso quer dizer que os usuários classificam esses sons como ruído. O ruído mais identificado foi conversas dos próprios usuários no ambiente, no qual durante período diurno mais de 95% dos usuários o detectaram. Dentre esses outros ruídos foram citados barulho de pratos, talheres, da cozinha e de manifestantes que havia próximos ao local. Sendo assim, pode-se entender que as premissas de conforto acústico não foram suficientes.

Segundo Ritter (2014), o grau de compreensibilidade pode ser definido como a porcentagem de sons que um ouvinte consegue entender no ambiente. Logo esse é um fator determinante no conforto acústico e, quanto a esse critério, o RU não cumpriu com o esperado.

5.3. Medições in loco

Por fim medições in loco seguindo códigos nacionais foram realizadas para averiguar o conforto acústico das edificações. Tais ensaios e resultados serão mostrados nesse tópico.

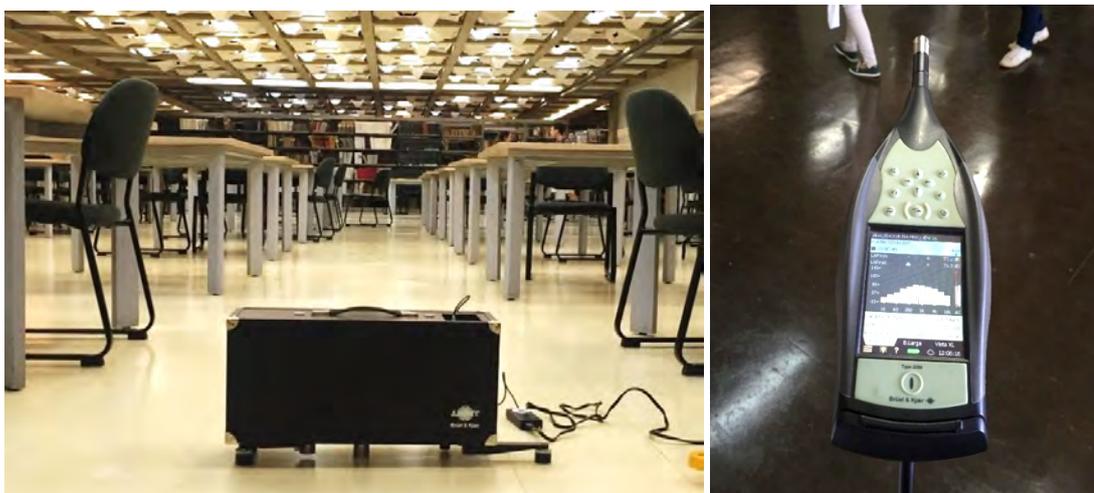
5.3.1. Biblioteca Central da UnB

Na Biblioteca Central da UnB foram realizados testes de acústica no dia 18/06/2016 entre as 18:30h e 20:30h. O ensaio foi realizado após o seu horário de funcionamento devido à necessidade de o local estar totalmente vazio para não haver incomodo aos seus usuários e para que eles não influenciassem no resultado. Para realizar o ensaio que verifica o nível de isolamento sonoro de impacto ($L'nTw$), foi utilizado o equipamento tapping machine da Bruel Kjaer que possui vários martelos que batucam no chão num determinado ritmo conforme está determinado pela ISO 140-7 (1998), Norma internacional que a NBR 15.575-3 (ABNT, 2013) determina que deve ser seguida. Para captar o som de impacto gerado pela tapping machine e medi-lo, utilizou-se Bruel Kjaer 2250. A Figura 6 apresenta tais equipamentos.

A tapping machine foi localizada no centro da laje do pavimento superior, representada pela laje 2 no corte esquemático (Figura 7), conforme mostra em sua planta baixa (Figura 8). O equipamento Bruel Kjaer 2250 foi localizado em

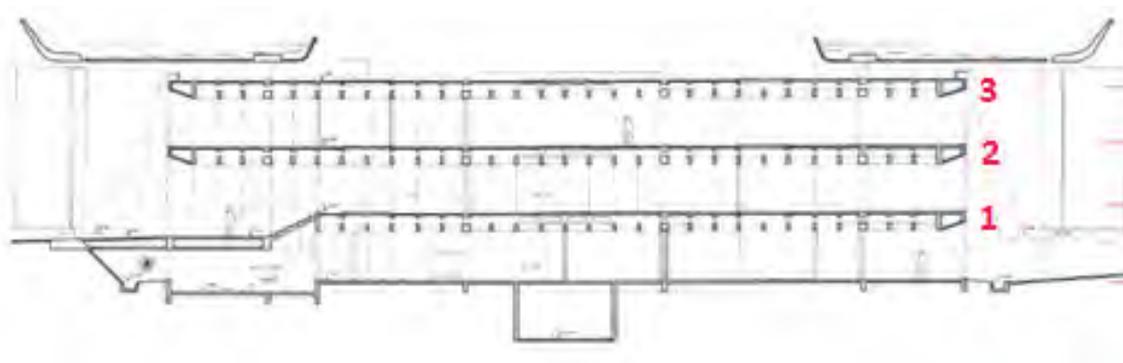
cinco pontos diferentes do pavimento térreo (Laje 1 na Figura 7), conforme mostra a Figura 9, para realizar a medição. Sendo assim, a laje da biblioteca central que foi efetivamente estudada em relação ao nível de isolamento ao ruído de impacto (L'_{ntw}) foi a laje 2.

Figura 6: Equipamentos tapping machine e Bruel Kjaer 2250, respectivamente.



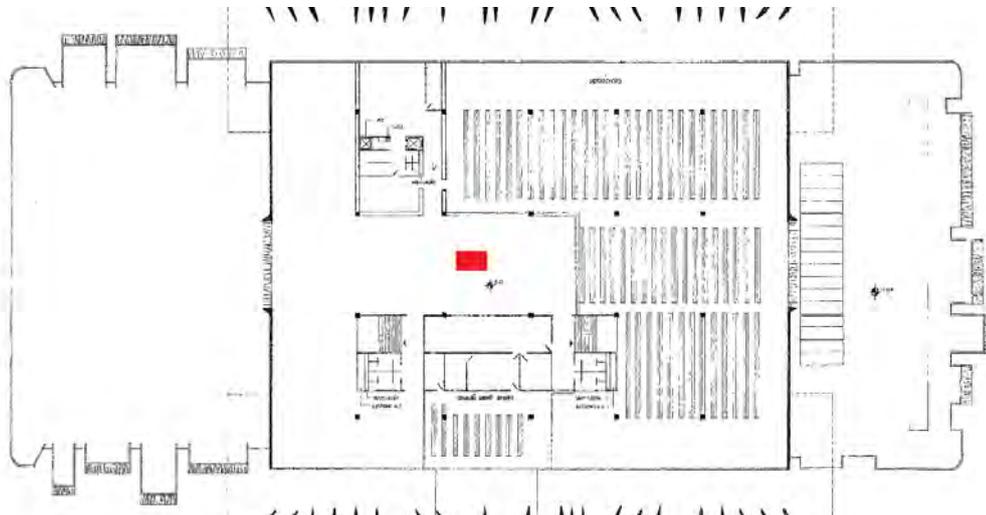
Fonte: autora

Figura 7: Corte da BCE com numeração das lajes.



Fonte: autora.

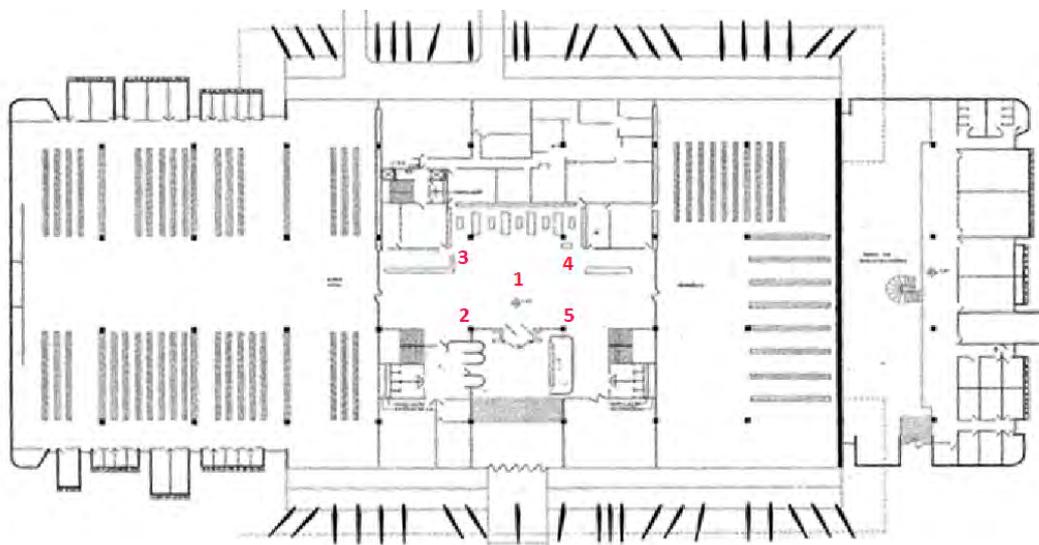
Figura 8: Localização da *tapping machine*.



Fonte: arquivo pessoal do Prof. Galbinski, modificado pela autora

 **Legenda:** Localização do equipamento *tapping machine*

Figura 9: Localização do equipamento *Bruel Kjaer 2250* na laje 1.



Fonte: arquivo pessoal do Prof. Galbinski, modificado pela autora

A Figura 10 mostra um corte esquemático de como é feita essa medição e o posicionamento dos equipamentos.

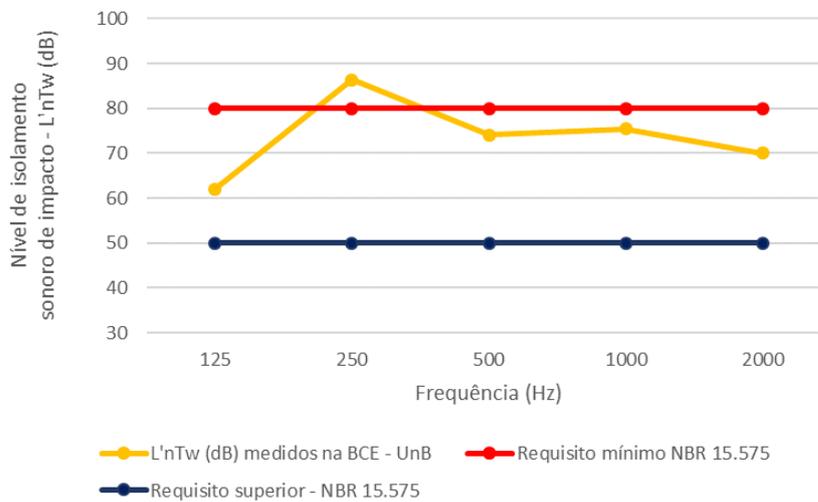
Figura 10: Mostra em corte o posicionamento dos equipamentos para medir o L'nTw.



Fonte: Akkerman (2016)

Vale ressaltar que na biblioteca optou-se por fazer apenas o teste para medir o nível de isolamento ao ruído de impacto pois, por ser um ambiente silencioso, as medições de ruído aéreo teriam resultados ínfimos. Os resultados referentes ao ensaio que verifica o nível de isolamento sonoro de impacto (L'nTw) do piso da biblioteca nas principais frequências (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz e 2.000 Hz) são os apresentados na Figura 11.

Figura 11: Nível de isolamento sonoro de impacto (L'nTw) da BCE – UnB.



Fonte: autora

De acordo com a parte 3 da NBR 15.575, o L'nTw deve ser menor que 80 dB para alcançar o desempenho mínimo no caso do sistema de piso separando unidades habitacionais individuais posicionadas em pavimentos distintos e menor que 50 dB para obter desempenho superior.

Sendo assim, o resultado médio encontrado foi de 73,62 dB, o que é menor que os 80 dB exigido. Apenas a medição que ocorreu na frequência de 250 Hz

ultrapassou o limite, o que fica claro na Figura 11, ou seja, 80% das medições foram de acordo com o mínimo indicado pela NBR 15.575, entretanto nenhuma atingiu o requisito superior de 50 dB. Fazendo um elo com o questionário aplicado, no que tange à parte acústica, cerca de 30% dos usuários perceberam sons negativos e, ainda assim, a maior parte desses sons foram selecionados como conversas e ruídos no ambiente, não havendo constatação de ruídos de impacto. Portanto, quanto a esse quesito, a premissa de projeto de Galbinski foi aprovada tanto pela NBR 15.575 quanto pelos seus usuários. Pode-se sugerir ainda que os requisitos mínimos para ruído de impacto da Norma de Desempenho poderiam ser aproveitados para edificações de porte monumental desse tipo.

5.3.2. Restaurante Universitário da UnB

No restaurante universitário da UnB, foi realizada a avaliação que mede o nível de pressão sonora equivalente (LAeq) do local quando ele está em uso. Foi escolhido esse ensaio pois, por ser um local frequentado por muitas pessoas em um ambiente em que o encontro e a conversa são propícios, determinar o nível de ruído é conveniente. O ensaio foi realizado no dia 16/06/2016 entre 12:00h e 12:40h, horário de pico do RU. Utilizando o equipamento medidor sonoro Bruel Kjaer 2250 (Figura 12) foi medido o nível do som em 21 pontos diferentes de todo o RU, apresentados na Figura 13, Figura 14 e

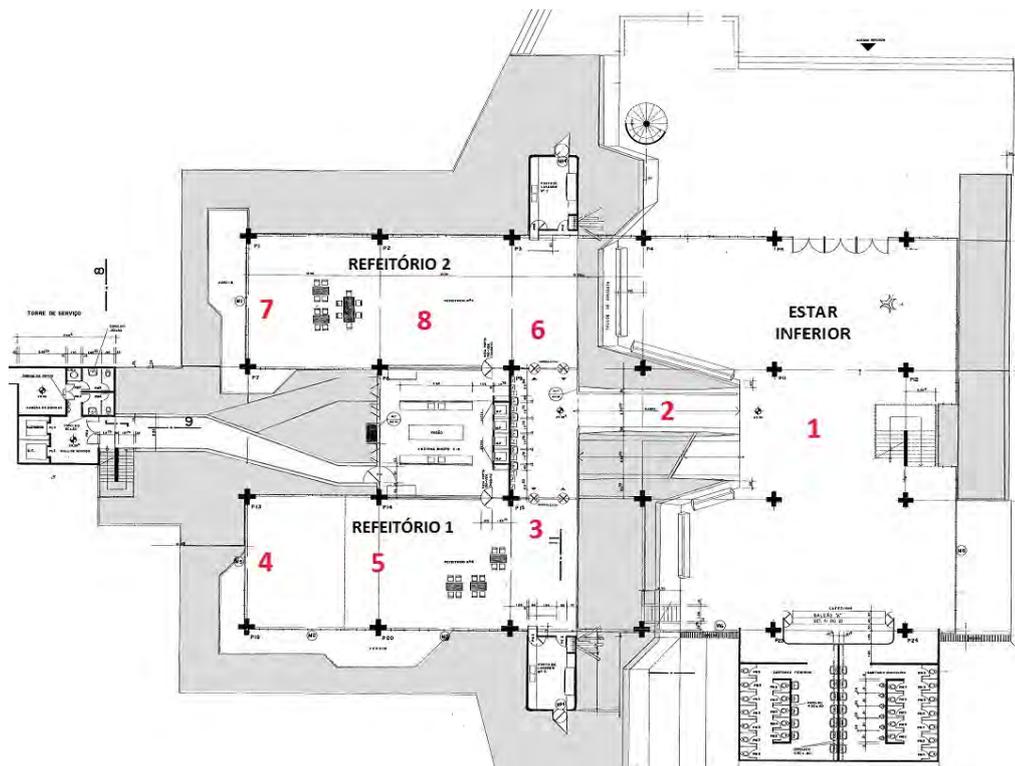
Figura 15. Para esse ensaio, foi seguida as recomendações da ABNT NBT 10.151.

Figura 12: Equipamento Bruel Kjaer 2250 utilizado na medição do RU.



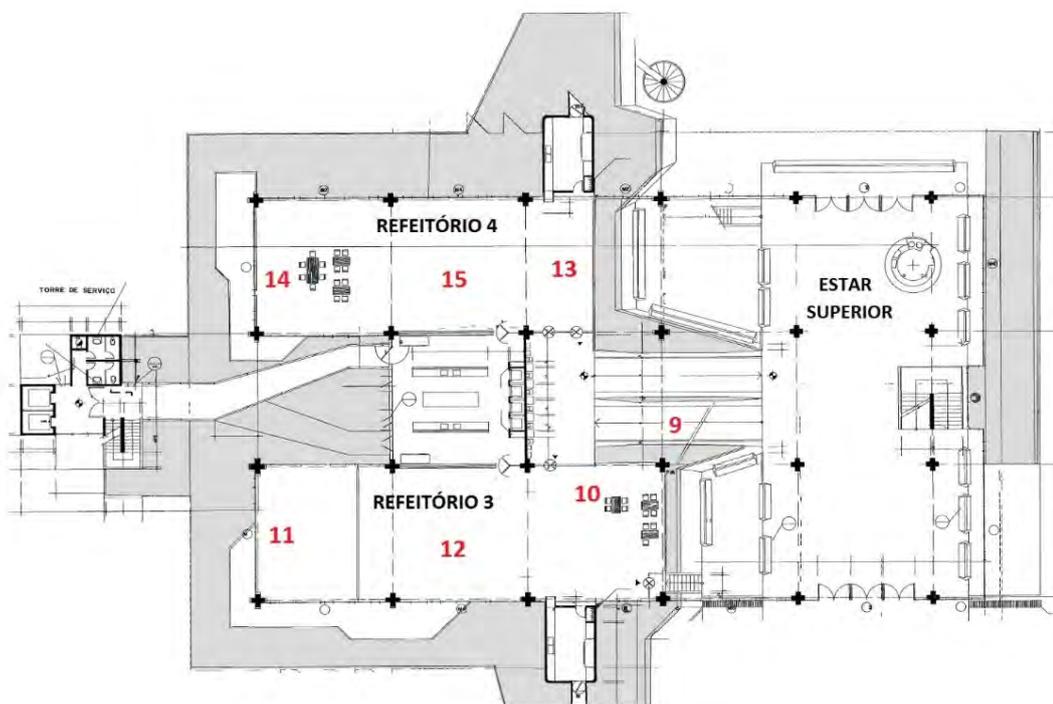
Fonte: autora

Figura 13: Localização dos pontos de medição refeitórios 1 e 2 (Pontos 1 a 8).



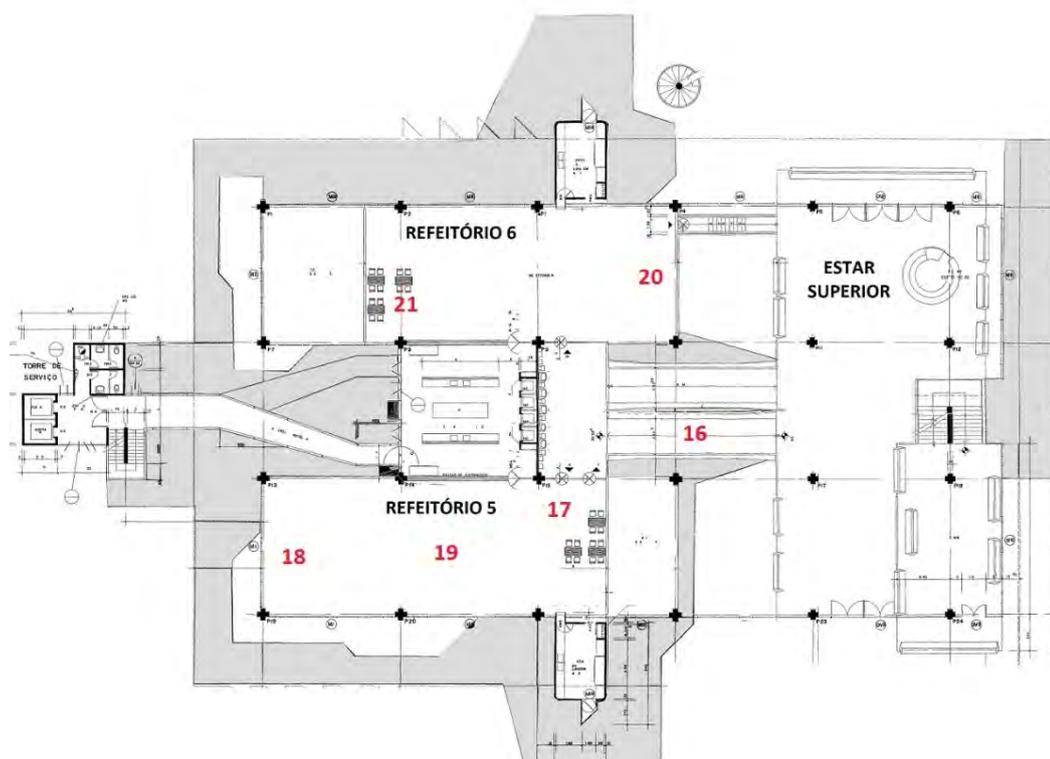
Fonte: arquivo pessoal Prof. Galbinski modificado pela autora

Figura 14: Localização dos pontos de medição refeitórios 3 e 4 (Pontos 9 a 15).



Fonte: arquivo pessoal Prof. Galbinski modificado pela autora

Figura 15: Localização dos pontos de medição refeitórios 4 e 5 (Pontos 16 a 21).



Fonte: arquivo pessoal Prof. Galbinski modificado pela autora

O próprio equipamento gerou para cada um dos 21 pontos um gráfico no qual na abcissa encontram as principais frequências dos sons em Hz e nas ordenadas o nível sonoro, em dB. Os LAFmax, LASmax, LASmin e LAFmin também são captados pelo equipamento durante a avaliação, sendo que o LAeq é o usado como referência. A Figura 16 ilustra o gráfico gerado na medição 1. No gráfico foram inseridos os valores máximos de nível de pressão sonora recomendados pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) de 37 dB e pela NBR 10.152 (ABNT, 1987) de 50 dB. A Tabela 6 apresenta o resultado médio obtido através das 21 leituras realizadas em todo o RU. Percebe-se que a média de LAeq é de 78,1 dB. A Norma de Desempenho analisa o conforto acústico entre unidades habitacionais. Como o RU não possui vias (paredes) separando o ambiente, ele seria considerado uma única unidade habitacional, o que dificulta a avaliação de acordo com Norma de Desempenho.

Figura 16: Gráfico medição LAeq sala de estar no Ponto 1.

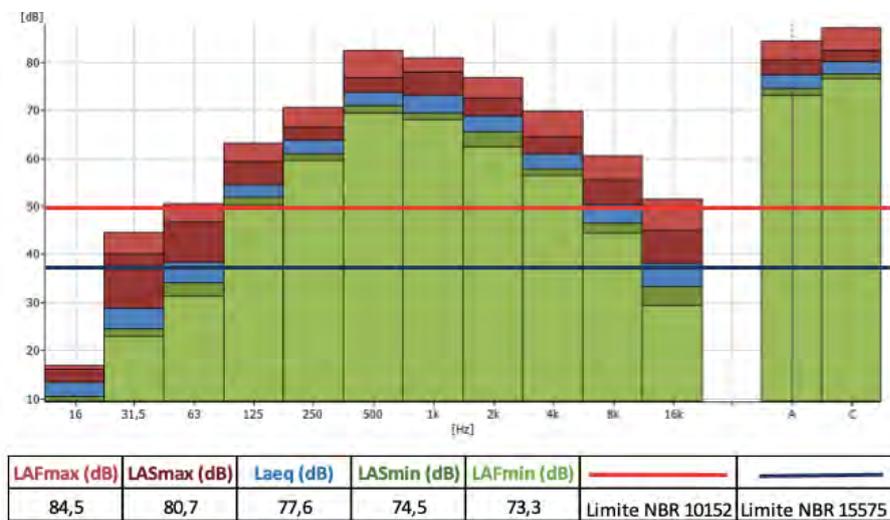


Tabela 6: Níveis de pressão sonora média encontradas no RU

DADO	MÉDIA
LAFmax (dB)	83,6
LASmax (dB)	80,7
Laeq (dB)	78,1
LASmin (dB)	75,7
LAFmin (dB)	73,6

Nota-se que todos os valores medidos se encontram acima do recomendado em ambas as normas.

6. CONCLUSÕES

No que tange à Biblioteca Central da UnB, pode-se chegar a algumas conclusões que serão expostas a seguir.

- A BCE apresentou um bom nível de isolamento sonoro de impacto, menor que os 80 dB, desempenho mínimo exigido pela NBR 15575. Quanto a esse critério, os níveis de desempenho exigidos pela Norma de Desempenho poderiam ser usados como referência nessa edificação de porte monumentais.
- Quanto ao ruído aéreo, suas conclusões foram retiradas a partir dos questionários, no qual apenas 35% dos usuários perceberam sons que influenciavam de maneira negativa.

- As premissas de projeto do arquiteto no tange ao conforto acústico foram alcançadas e seus usuários se sentiram confortáveis.

Já em relação ao RU, obteve-se as seguintes conclusões:

- Os usuários notaram sons que influenciavam na altura da conversa de maneira negativa, sendo o som mais detectado foi o de conversas no ambiente.

- Através das medições, verificou-se que o nível de pressão sonora equivalente médio no local é de 78,1 dB. O recomendado pela NBR 10152 é o de 50 dB. Tal nível de ruído impediu a boa compreensão de conversas;

- O limite de ruído citado pela Norma de Desempenho para que o desempenho seja mínimo é o de 37 dB. Sendo assim, quanto a esse critério, essa norma não pode ser usada como referência, uma vez que é muito baixo.

Tendo esses tópicos em vista, conclui-se que o presente trabalho oferece uma contribuição inicial de modo que no futuro parâmetros de avaliação e os requisitos mínimos em edificações de porte monumental sejam conhecidos e aceitos pelos profissionais da área. Dessa maneira, esse estudo possibilita às futuras construções valiosas informações que podem contribuir para que adequadas condições de conforto acústico, lumínico e térmico sejam incorporadas aos projetos de conforto ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto 02:135.01-004. **Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento**. Norma prevista para substituir a ABNT NBR 10152. Rio de Janeiro. 1999.

_____. ABNT NBR 10151: **Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2000.

_____. ABNT NBR 10152: **Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro. 1987.

_____. ABNT NBR 15575: **Edificações Habitacionais – Desempenho**. 2013.

_____. ABNT NBR 15575-3: **Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de piso**. Rio de Janeiro. 2013.

CABRAL, C. M.; **Acústica Industrial: aplicação da análise de vibrações e ruído à identificação de fontes de ruído em ambiente industrial**.

Dissertação. Departamento de Engenharia Mecânica. Faculdade de Ciências e Tecnologias. Universidade de Coimbra. 2012.

FREGONEZZI, Marcos A.; LOPES, José L. **O ruído como fator de interferência na comunicação: um estudo de caso em instituição de ensino.** Serviço Social de Aprendizagem Comercial (SENAC), Faculdade de Ciências Ambientais (FCA) – São Paulo. 2006.

GREVEN, H. A.; FAGUNDES, H. A. V.; EINSFELDT, A. A. **ABC do Conforto Acústico.** 2ª Edição. Rio Grande do Sul. 2006.

GRACEY & ASSOCIATES. **Acoustic Glossary.** United Kingdon. Disponível em <<http://www.acoustic-glossary.co.uk>>. Acesso em Novembro de 2016.

International Organization for Standardization. ISO 140-7: **Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors.** Gebenra. 1998.

PIERRARD, J. F.; AKKERMAN, D. **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho.** RUSH Gráfica e Impressora Ltda. 1ª Edição. 2013.

RITTER, V. M.; **Avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico no ambiente escolar, no período de inverno: o caso do câmpus Pelotas Visconde da Graça.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 2014.

SANTOS, E. D. A. dos. **Duas bibliotecas de José Galbinski: "conexões brutalistas"?** In: Seminário Docomomo Brasil, X. Curitiba. 2013.

VII

TÉCNICAS DE AUDITORIA DO CONSUMO DE ÁGUA: RELATOS DE EXPERIÊNCIA EM CAMPO

AUDITING TECHNIQUES FOR WATER CONSUMPTION: FIELD EXPERIENCE REPORTS

Igor Rafael Mendes Guimarães Alcantara

Grupo de Pesquisa Água & Ambiente Construído
Brasília – DF, Brasil
irmalcantara@gmail.com

Valmor Cerqueira Pazos

Grupo de Pesquisa Água & Ambiente Construído
Brasília – DF, Brasil
pazos@unb.br

Louise Boeger

Grupo de Pesquisa Água & Ambiente Construído
Brasília – DF, Brasil
louiseboeger@unb.br

Daniel Sant'Ana

Grupo de Pesquisa Água & Ambiente Construído
Brasília – DF, Brasil
dsantana@unb.br

Resumo: Auditoria de água é o processo documentado na avaliação quantitativa e qualitativa dos fluxos de água dentro de um determinado domínio. A auditoria de água pode ser realizada em diferentes cenários naturais ou construídos, da macro à micro escala. Neste trabalho, apresentamos diferentes técnicas de auditoria do consumo de água em edificações a partir de experiências em campo. As técnicas aqui apresentadas variam de estimativas baseadas em entrevistas e observações a medições realizadas por diferentes instrumentos. A auditoria do consumo de água em edificações é capaz de caracterizar os usos-finais de água, gerando informações de consumo, frequência, tempo de uso, vazão de equipamentos hidrossanitários, hábitos de uso de água e rotinas de manutenção predial, padrão de consumo predial, vazamentos e ineficiências do sistema hidráulico. As informações geradas podem ser utilizadas para gerar modelos de previsão de demanda, no dimensionamento de redes hidráulicas e reservatórios de sistemas prediais de água potável e de água não potável, avaliar o desempenho de diferentes estratégias voltadas a conservação de água, a eficácia de políticas públicas, entre outros.

Palavras-Chave: Auditoria de Água, Usos-finais de Água, Experiências em Campo

Abstract: Water auditing is the documented process in the quantitative and qualitative assessment of water flows within a given domain. Water audits can be carried out at different natural or built scenarios, from macro to micro scale. In this work, we present different auditing techniques for water consumption in buildings based on fieldwork experiences. The techniques presented vary from simple and cost-effective strategies (such as observations, questionnaires and

interviews) to precise technological devices capable measuring water flow. Building water audit is able to characterize water end uses, generating data on water consumption, frequency of water use, time per use, water flow, use habits, maintenance routines, consumption patterns, leaks and inefficiencies within the plumbing system. The information can be used to generate demand forecasting models, dimensioning potable and non-potable water systems, evaluating the performance of water conservation strategies, the effectiveness of public policies and others.

Keywords: Water Audit, Water End-Uses, Fieldwork Experiences

1. INTRODUÇÃO

Auditoria de água é o processo documentado na avaliação quantitativa e qualitativa dos fluxos de água dentro de um determinado domínio. Sua essência quantitativa é de medir o volume de água utilizada em diferentes tipos de usos e compreender como a água está sendo utilizada dentro do domínio estabelecido (**auditoria do consumo de água**). Os volumes de entrada e saída deste domínio são comparados; eles devem estar dentro de uma tolerância pré-determinada para considerar os resultados como satisfatórios. Em sua essência qualitativa, as características físicas, químicas e biológicas dos volumes de entrada e de saída do domínio são analisadas e os processos de uso avaliados (**auditoria da qualidade de água**).

A auditoria de água pode ser realizada em diferentes cenários naturais ou construídos, da macro à micro escala. Por exemplo, sistemas naturais como bacias hidrográficas, rios e lagos podem ser auditados, assim como sistemas urbanos de distribuição de água, drenagem ou de esgotamento sanitário. Já a auditoria de água em sistemas prediais é capaz de caracterizar a quantidade e a qualidade de água de diferentes pontos de entrada (abastecimento) e saídas (efluentes). Como resultado, ineficiências no sistema analisado podem ser identificados, gerando indicadores quantitativos e qualitativos de desempenho ambiental - informações cruciais para a gestão sustentável da água.

A auditoria do consumo de água em edificações é capaz de caracterizar os usos-finais de água, gerando informações de consumo, frequência, tempo de uso, vazão de equipamentos hidrossanitários, hábitos de uso de água e rotinas de manutenção predial, padrão de consumo predial, vazamentos e ineficiências do sistema hidráulico. As informações geradas podem ser utilizadas para gerar modelos de previsão de demanda, no dimensionamento de redes hidráulicas e

reservatórios de sistemas prediais de água potável e de água não potável, avaliar o desempenho de diferentes estratégias voltadas a conservação de água, a eficácia de políticas públicas, entre outros.

Um dos primeiros estudos de caracterização de usos-finais de água foi realizado por Thackray et al. (1978) tendo como objeto de estudo o consumo doméstico de duas famílias inglesas em cidades diferentes no ano de 1971. Para o levantamento dos dados de consumo, usaram como método a leitura das marcações diárias dos hidrômetros das casas e preenchimento manual de diários de consumo de cada membro da família, considerando o número de vezes e a finalidade do consumo da água. Para complementar o levantamento dos perfis, os pesquisadores realizaram ensaios de consumo de vários eletrodomésticos para cruzar as informações de volume de água consumida com os lançamentos feitos nos diários. Sobre este estudo, Barreto (2008) salienta que esta caracterização do consumo de água é restrita e aplicável somente à época de realização do estudo, embora seus métodos possam ser replicáveis em estudos atuais.

Outro trabalho seminal com relevante metodologia foi o de De Oreo et al. (1996), em que realizaram o monitoramento do consumo de uma residência através da instalação de um hidrômetro acoplado a um datalogger para se extrair o perfil de consumo de cada ponto de consumo de água da casa. Para tanto, desenvolveram uma técnica denominada “análise de traço” em que, a partir dos dados de consumo aferidos pelo datalogger, obtiveram curvas de vazão características para cada equipamento de água, gerando uma ‘assinatura’ de vazão através da frequência de uso em cada ambiente e determinando, assim, o perfil de consumo final da água.

Na medida em que pesquisas nacionais e internacionais evoluem para analisar o uso de água em diferentes tipos de edificações, observa-se, cada vez mais, o emprego de diferentes técnicas capazes de caracterizar os usos-finais de água. Este trabalho teve como objetivo apresentar diferentes técnicas de auditoria do consumo de água a partir de experiências em campo.

2. MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

A depender da finalidade da investigação e da viabilidade de acesso dos pesquisadores para realizar o levantamento dos dados, cada estudo pode optar

por lançar mão de técnicas que possibilitem obter dados quantitativos, qualitativos, ou ambos, para subsidiar suas análises. Neste sentido, Sant’Ana & Mazzega (2018) ressaltam a importância de utilizar tantas técnicas quanto possíveis para se verificar a consistência entre diferentes subconjuntos de informações, bem como para mitigar modelos de erro de covariância associados aos dados obtidos de diferentes fontes.

A fim de caracterizá-las, serão classificadas e tipificadas no presente artigo metodologias de aferição de consumo de água em seus usos finais. Serão descritos os principais equipamentos utilizados em estudos de usos finais da água, citados no decorrer de cada metodologia. Os métodos de medição serão listados conforme sua abrangência de amostragem, divididos em: medição geral, medição setorizada e medição específica.

As técnicas de levantamento de dados de consumo descritas serão, em sua maioria, fruto de experiências de campo dos próprios autores, podendo haver reforço teórico ou não, visando documentar componentes e técnicas que possam colaborar em metodologias de estudos futuros. Estas serão classificadas conforme a acessibilidade na obtenção dos dados, ou seja, por técnicas de amostragem direta ou indireta.

Miranda (2002) ressalta que a limitação técnica, seja por insuficiência material ou por falta de calibragem ou manutenção regular dos equipamentos, assim como a própria obsolescência dos equipamentos, provocam erros nas medições. Daí a importância de se gerar uma base de dados e protocolos fundamentados e devidamente testados para viabilizar aplicações futuras de forma mais consistente, esquivando-se de erros já predicados.

Segundo Sá (2007), as perdas de água estão presentes em todas as partes de um sistema de abastecimento, desde a captação até os pontos de consumo, como por exemplo, as residências de cada usuário. Para a determinação e identificação das perdas é fundamental que os volumes em cada parte do sistema sejam medidos, através da micromedição.

Entende-se por micromedição o cálculo do abastecimento por usuários finais, convencionalmente realizado através da instalação de hidrômetros dos ramais de distribuição da cidade chegando às edificações. A hidrometração é o tipo de micromedição mais amplamente utilizado em pequenos e médios setores urbanos. Nos ramais de instalações individuais, o medidor é instalado na ponta

do ramal predial externo e na entrada da tubulação predial interna do imóvel.

Estes equipamentos devem ser escolhidos conforme critérios de aplicabilidade, adequação técnica e custos operacionais de acordo com o escopo do trabalho a ser realizado. Em se tratando de instalações hidráulicas, critérios como pressão de utilização, tipo de material e finalidade da aplicação devem pesar na escolha de cada um dos componentes.

3. MEDIÇÕES GERAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

As medições gerais são empregadas em estudos de consumo do edifício como um todo. O uso da água pode variar dentre as diversas tipologias e finalidades de edificações.

O principal equipamento de medição de consumo geral, inclusive estabelecido por Lei, é o hidrômetro. O hidrômetro é um equipamento cuja finalidade é indicar e totalizar, continuamente, o volume de água que o atravessa (Rech,1999). Para dimensionamento do hidrômetro em medições gerais ou setorizadas, considera-se a demanda de vazão servida à edificação ou ao setor específico a ser medido.

Há que ponderar a justa medida de trabalho do equipamento, entre não extrapolar suas limitações técnicas - com volumes excessivos de medição - nem trabalhar com vazões muito reduzidas que inviabilizam seu correto funcionamento. Além da vazão máxima de trabalho determinada pela demanda do consumidor, é necessário conhecer a vazão mínima, na qual se prevê que o sistema irá operar e que o equipamento deverá registrar corretamente.

3.1. Medições Setorizadas

Define-se por setorização do consumo de água a divisão do sistema hidráulico em setores de utilização. A setorização pode ocorrer por atividades de consumo ou conforme a disposição e áreas dos ambientes, ou o que se mostrar mais aplicável. No segundo caso, é dado um enfoque hidráulico com agrupamento de áreas ou pontos de consumo (PNCDA, 2003).

Para investigação de usos finais, a observação dos dados de perfil de consumo pode ser realizada através do uso de equipamentos conversores de pulsos magnéticos em pulsos digitais, que chamaremos aqui de medidores de fluxo, instalados na linha de adução hidráulica antes do objeto de estudo. Estes

medidores de fluxo podem ser encontrados no mercado nas bitolas de $\frac{1}{2}$ " e 1" (para medições específicas) e $1\frac{1}{2}$ " (para medições setorizadas), produzidos em plásticos de engenharia ou aço inoxidável – para trabalhos com fluidos reativos ou em altas temperaturas (Figura 1). Os dados de pulso computados pelos medidores de fluxo podem ser armazenados em dataloggers ou transmitidos via internet para outros equipamentos de armazenamento digital.

Em um trabalho de setorização de consumo realizado num condomínio residencial no Setor Sudoeste em Brasília-DF (Figura 3), foram utilizados medidores de fluxo de $1\frac{1}{2}$ " com filtro Y - para evitar que corpos estranhos bloqueassem a hélice dos medidores de fluxo; registros de esfera – para interrupção do fluxo de água no setor desejado e luvas de união – para viabilizar futuras intervenções técnicas sem a necessidade de cortes nas tubulações.

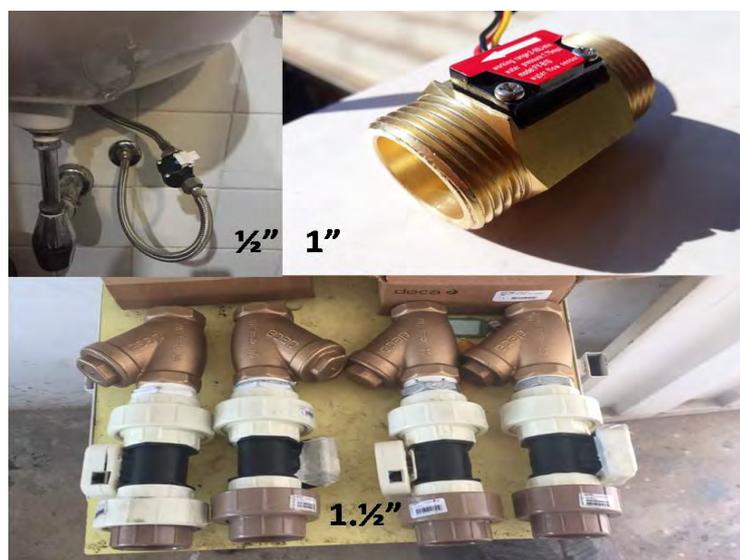


Figura 1. Exemplos de medidores de fluxo de diferentes bitolas e materiais

Neste contexto, o recurso da medição foi uma maneira de gerenciar o controle de consumo das unidades residenciais de acordo com a localização dos apartamentos, em quatro grupos: apartamentos de final 01 (101 a 601), 02 (102 a 602), 03 (103 a 603) e 04 (104 a 604). Para isso, foi necessário um mapeamento da pressão na rede, a fim de identificar os limites das áreas com diferentes faixas de pressão. Esta instalação foi realizada diretamente no barrilete, para que se tivesse cota piezométrica superior a 10 metros e, assim, fosse possível manter uma pressão adequada servida aos apartamentos.

Para um sistema de medição setorizada, é realizado um projeto de localização dos medidores de $1\frac{1}{2}$ ", com especificação dos elementos primários

(características de rede) e secundários (componentes do medidor) e meios de calibração. Os dados devem ser consolidados em relatórios gerenciais e deve ser elaborado um calendário de manutenção preventiva e corretiva das instalações.



Figura 2. Setorização de medição em um barrilete de condomínio residencial

Um edifício com sistema de medição e monitoração setorizada tem como benefícios o controle de consumo, ocasionado pela redução dos volumes totais consumidos em um determinado período e a pronta identificação de vazamentos internos ou desperdícios significativos que, a depender da companhia de saneamento, pode levar um mês ou mais para serem identificados.

3.2. Medições Específicas / Medição com medidores de fluxo de 1/2"

Consideramos medições específicas aquelas que registram o consumo em aparelhos hidráulicos de usos finais, tais como: torneiras, sistemas de descarga, máquinas de lavar, bebedouros etc.

Os medidores de fluxo de 1/2" são mais indicados para medições de consumo pontuais em torneiras, chuveiros, sistemas de descarga com caixa acoplada, duchas higiênicas, bebedouros e máquinas que consomem água em sua utilização (Figura 3. 1).

Para instalação, observamos maior eficácia no uso de engates flexíveis metálicos do tipo macho-fêmea de comprimentos diversos, conforme o acesso necessário. Flexíveis de plástico, embora tenham custo mais acessível, podem resultar em vazamentos indesejados, já que o bocal de rosqueamento costuma ter um comprimento maior que a rosca do medidor de fluxo, impedindo que a guarnição de borracha seja premida para a correta vedação. É importante que a

pressão não ultrapasse 40 m.c.a, para não danificar o medidor de fluxo (Figura 3.4).



Figura 3. Equipamentos de medição específica

Em um estudo realizado numa creche pública no Distrito Federal, usamos para registro de dados equipamentos do tipo datalogger, que armazenavam informações geradas pelos medidores de fluxo num cartão de memória, sem conexão à internet (Figura 3.2).

Nem sempre o datalogger pode ficar próximo aos medidores de fluxo, pois a umidade pode danificar o aparelho. Para se levar as informações do medidor de fluxo para o datalogger, usa-se um cabo de áudio tipo cânnon de 3 vias que deve ter até 12 metros, uma vez que foram registradas perdas de informação no uso de cabos mais extensos.

Outro tipo de combinação utiliza o datalogger acoplado ao medidor de fluxo, com uma placa de rede de internet embutida (Figura 3.3). Dessa forma, os dados mensurados são enviados via cabo ou via wi-fi para um servidor online. Junto a esse servidor podem ser utilizados softwares capazes de gerir os dados automaticamente e identificar as assinaturas de consumo de cada equipamento, desagregando os resultados em usos finais, por exemplo.

3.3.Registro manual de consumo com cronômetro

Usado para estimar a vazão de um determinado equipamento por meio do tempo necessário para encher um recipiente cujo volume já foi determinado, esse método utiliza um balde ou vasilhame milimetrado para receber a água e, com uso de um cronômetro ou marcador de tempo, identificar o tempo de

enchimento. Para obter a vazão, é calculada a razão entre o volume pré-determinado e o tempo de enchimento, em L/s ou L/min.

A vantagem deste recurso, além de seu baixo custo, é sua versatilidade e baixa complexidade de aplicação para se obter informações sobre as características de consumo de um determinado ponto, por exemplo, torneira de jardim, lavatório, tanque ou mesmo torneira boia para caixa d'água.

As limitações do registro em cronômetro estão em seu baixo nível de precisão, além da inviabilidade para amostragens de grande número de pontos de consumo. Também não é possível utilizar este método para alguns tipos de equipamento, como descargas sanitárias e máquinas de lavar.

4. TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM

As técnicas de amostragem devem buscar equilibrar qualidade, quantidade e principalmente confiabilidade de dados para realização de um estudo. O controle através de sistemas inteligentes capazes de atuar de forma eficiente remete confiabilidade nas informações, rapidez na tomada de decisões e economia na operação (Santos, 2013).

Diferimos as técnicas de amostragem em amostragem direta, em que os agentes do estudo interferem ativamente nas atividades para obtenção de dados e amostragem indireta, onde a obtenção é passiva e, em geral, não implica em mudanças no funcionamento ou comportamento do objeto do estudo.

4.1. Entrevista/ Questionário

Esta é uma metodologia amplamente utilizada, que se caracteriza por entrevistas com consumidores de água. Tem por finalidade obter dados dos hábitos de consumo de água e outras informações como, por exemplo, dados socioeconômicos, que permitam investigar diferentes extratos sociais e sua relação com o consumo de água. Em geral, são seguidas de visitas aos locais de estudo (Dantas et al. 2006; Oliveira et al. 2006; Ywashima et al. 2006).

Os questionários são formulados com finalidade de se obter dados de caracterização de amostras que possam associar ou justificarem suas vazões de consumo (Berenhauser & Pulici, 1983), registradas por um período determinado. A seguir estes dados são processados e tabulados.

De acordo Berenhauser & Pulici (1983) os questionários e entrevistas tem

por escopo o preparo de perguntas que sejam:

- Ontológicas dentro do escopo do estudo, em que possam abranger múltiplos elementos que trarão riqueza na obtenção de dados para os estudos.
- Acessíveis, desde o entendimento para os entrevistados, do ponto de vista de sua compreensão, até em sua facilidade de acesso e simplicidade de resposta.
- Que sejam claras em sua construção, não dando margem a entendimentos dúbios ou equívocos que possam enviesar ou prejudicar o estudo.

O uso deste método foi aplicado especificamente para obtenção de informações de consumo em válvulas de descarga para bacia sanitária, em estudo do Grupo de Pesquisa Água e Ambiente Construído, numa creche em Brasília.

4.2. Contador analógico

Este pode ser um recurso para se investigar perfis de consumo em instalações hidrossanitárias com válvulas de descarga de forma não invasiva, com baixo custo e rápida instalação.

Em experiências em campo, foi utilizado um contador analógico digital embutido, cujo botão de registro fica alinhado a uma paleta da tecla de acionamento da válvula de descarga, de tal modo que o usuário, ao acionar a descarga, simultaneamente faz com que a paleta acione o botão de contador, registrando que a válvula foi usada (Figura 4).



Figura 4. Instalação de contadores analógicos em válvula de descarga

4.3. Registro em vídeo

Este método foi um recurso utilizado por Sant’anna et al., (2013) em estudo de perfil de consumo de uma escola pública em Brasília, no intuito de acompanhar o tempo de uso das torneiras na cozinha pelos funcionários, tendo uma câmera filmadora registrando a movimentação e usos, sem a interferência de um observador no local.

Nascimento & Sant’Ana (2015) valeram-se deste recurso para medir os usos finais da água em uma cozinha de hotel, usando, para tanto, os registros de câmeras de segurança, já instaladas no local.

Embora tenha custo operacional baixo, especialmente considerando sua implementação em locais que já contem com os equipamentos de vídeo pré-instalados, e possa ser aplicado em diversos ambientes, o manejo dos dados em vídeo para aferição dos tempos de consumo demanda muito tempo de trabalho. Além disso, para determinados ambientes em que se realiza consumo de água, especialmente em banheiros, o registro em vídeo torna-se inviável por motivos de privacidade dos usuários.

4.4. Cadernos/ Diários de registros

O registro diário de consumo é muito utilizado para parametrizar e controlar padrões de consumo. É comumente utilizado em condomínios e empresas, a fim de identificar desvios nas medições que possam indicar possíveis vazamentos em sua rede.

Em muitos casos, a melhor forma de estimar o perfil de consumo de um local é através dos registros de processos, a partir protocolos de controle. Torna-se também um recurso muito útil para estudos e levantamentos de consumo de estabelecimentos em que não se tem acesso aos hidrômetros da companhia de saneamento.

Num estudo realizado no Hospital de Apoio de Brasília em 2017, para se estimar o volume de consumo mensal da lavanderia, fez-se uso dos diários de registro de controle das pesagens diárias de roupa a ser lavada, anotadas pelos funcionários (Figura 5). Nesse caso, o peso da roupa a ser lavada era a variável associada ao consumo de água para esse uso final específico, o de lavagem de roupas.



Figura 5. Exemplo de diários de Registro

5. CONCLUSÃO

Embora ainda sejam poucas as experiências práticas desse tipo de estudo, tem se observado um crescente interesse em pesquisas referentes às medições de consumo de água. É importante considerar que a elaboração de técnicas e protocolos de procedimento de pesquisas de campo podem ser muito úteis no planejamento de estudos futuros, prevenindo desvios desnecessários.

Em termos de técnicas e procedimentos, consideramos fundamentais para a eficácia da operação (instalação, obtenção dos dados e remoção dos equipamentos de medição) que seja garantida a regularidade das instalações, a estanqueidade das vedações e o não compromisso às pressões ou vazões servidas, permitindo manutenções dinâmicas e, na medida do possível, mantendo a originalidade dos pontos de consumo investigados, tanto durante quanto após a instalação do conjunto hidráulico medidor.

Neste contexto, é importante que os métodos empregados sejam coetâneos, no sentido de trazerem informações derivadas de um mesmo âmbito de estudo. Os equipamentos estejam coerentes, em termos de calibração e confiabilidade de aferição. Tudo isso, dentro do processo conativo da pesquisa, em que várias instâncias do conjunto da obra estejam harmônicas.

Para selecionar os métodos mais adequados para aferição, deve-se, portanto, considerar o tipo de resultado desejado (consumo geral, setorizado ou por usos finais de água), o nível de acesso aos pontos de consumo que se deseja

aferir, a quantidade de recursos financeiros, técnicos, humanos e o tempo disponíveis para a pesquisa e o grau de confiabilidade desejado. Nem sempre será possível utilizar os métodos mais precisos, por exemplo, quando o volume de amostragem é maior. Torna-se, essencial, portanto, ao pesquisador, considerar na elaboração de sua metodologia os diversos fatores envolvidos na medição do consumo de água levantados no decorrer deste artigo.

A contribuição do presente estudo, portanto, reside na demonstração de diferentes métodos de medição de consumo de água empregados com sucesso em estudos realizados nos últimos anos, sob a forma de relatos de experiências de campo, que podem colaborar na escolha de métodos de outros estudos dessa área do conhecimento, trazendo uma perspectiva prática, a ser somada ao campo teórico.

6. AGRADECIMENTO

Agradecemos a Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento às pesquisas realizadas pelo Grupo de Pesquisa Água & Ambiente Construído.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRETO D. **Perfil do consumo residencial e usos finais da água**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 23-40, abr./jun. 2008.
- BERENHAUSER, J.C.B.; PULICI, C. **Previsão de consumo de água por tipo de ocupação do imóvel**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12. Balneário Camboriú, Santa Catarina, 1983. 34 p.
- DANTAS, C. T.; UBALDO JR., L.; POTIER, A. C.; ILHA, M. S. O. **Caracterização do uso de água em residências de interesse social em Itajubá**. XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis – SC, Anais. CD Rom, 2006.
- DE OREO, W.B., HEANEY, J.P., MAYER, P.W. **Flow trace analysis to assess water use**. *Journal of American Water Works Association*, V.88, nº 1, p. 79 90, jan., 1996.

- MIRANDA, C., Ernani. **Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água – Indicadores de Perdas de Metodologias para Análise de Confiabilidade**. 2002. 130p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- NASCIMENTO, E.A.A.; SANT’ANA, D.R. **Caracterização dos usos-finais do consumo de água em edificações do Setor Hoteleiro de Brasília**. Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, v. 3, n. 2, p. 156-167., ISSN 2318-1109. fev. 2015. Disponível em: <https://is.gd/8JGUyx>.
- OLIVEIRA, L. H.; SOUSA, L. C.; SILVA, K. A.; PAIXÃO, A. **Caracterização do uso da água em habitações unifamiliares de interesse social**. XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis-SC, Anais.CD Rom, 2006.
- PNCDA – PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA. DTA No F3. **Código de Prática de Projeto e Execução de Sistemas Prediais – Conservação de água em Edifícios** - Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria de Política Urbana, Brasília, DF, 68p. 2003.
- RECH, Antônio L. **Água, micromedição e perdas**. São Paulo: Scortecci, 1999.
- SÁ, Clarissa Campos de. **A importância da micromedição no combate às perdas de água - estudo da hidromedidação da Companhia águas de Joinville**. Florianópolis –SC, 2007.
- SANT’ANA, D.; MAZZEGA, P. **Socioeconomic analysis of domestic water end-use consumption in the Federal District**. Brazil. Sustainable Water Resources Management, v.3, p.1-16, 2017.
- SANT’ANNA, R.; MIRANDA, R.; CÉSAR, L.; SANT’ANA, D. **Análise do Consumo de água em Escola Pública do Distrito Federal**. Terra: [livro eletrônico]: Qualidade de Vida, Mobilidade e Segurança nas Cidades / Giovanni Seabra (organizador). – João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, Vol. 3 1.243 pag. 2013.

- SANTOS, D.D. **Avaliação da metodologia para controle de perdas de água em sistema de distribuição no Recife-PE**. Dissertação (Mestrado). Orient.: Profa. Dra. Suzana Maria Montenegro. – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.121f. 2013
- THACKRAY, J. E.; COCKER, V; ARCHIBALD, G. **The Malvern and Mansfield studies of domestic water usage**. Proceedings of the institution of civil engineers: part 1-design and construction. v. 64, p. 37-61. London: Institution of Civil Engineers, fev. 1978.
- YWASHIMA, L. A.; CAMPOS, M. A. S.; PIAIA, E.; LUCA, D. M. P.; ILHA, M. S. O. **Caracterização do uso de água em residências de interesse social em Paulínia**. XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis-SC, Anais. CD Rom, 2006.

VIII**ELABORAÇÃO DE ALGORITMO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA TERRENOS DO DISTRITO FEDERAL – BRASIL****ELABORATION OF ALGORITHM FOR USE AND SOIL OCCUPANCY FOR LANDS IN THE DISTRITO FEDERAL – BRAZIL****Rudi Sato Simões**

Centro Universitário de Brasília - Uniceub, Arquitetura e Urbanismo.

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/2753316178645943>

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília - UNB, PPGFAU.

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>

Mafalda Fabiene Ferreira Pantoja

Centro Universitário Euro Americano, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Brasília – DF, Brasil

mfabiene@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/4110366813339671>

RESUMO: Esta pesquisa consiste no desenvolvimento de um algoritmo de parametrização das normas de uso e ocupação do solo no plugin Grasshopper. A justificativa pela pesquisa se dá pela escassez de estudos com o plugin na parametrização de normas urbanísticas sendo usualmente utilizado no desenvolvimento espacial e volumétrico de soluções projetuais em edificações e em componentes como os de fachadas. A metodologia adotada consistiu em estudo de caso em que se optou pela validação do algoritmo por meio de sua aplicação em três terrenos residenciais, em três cidades satélites do Distrito Federal, com valores normativos e morfologia topográfica distintos. Para o algoritmo levou-se em consideração a topografia e quatro parâmetros urbanísticos: taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, afastamentos obrigatórios e altura máxima. Como resultados, foram obtidas representações gráficas destes parâmetros e gerados dados como dimensões máximas de áreas e alturas para cada um dos terrenos, em resposta a inserção dos parâmetros contemplados em norma. A volumetria final gerada pelo algoritmo consiste no resultado da interação de todos os parâmetros, e serve como solução arquitetônica inicial, ainda que possa ser desenvolvida projetualmente, tem como ser utilizada no ensino de arquitetura e como documentação de entrada em processo de aprovação junto a administração pública.

Palavras-chave: algoritmo, grasshopper, parametrização, uso e ocupação do solo.

ABSTRACT: This research consists in the development of a parameterization algorithm for the rules of land use and occupation in the Grasshopper plugin. The justification for the research is given by the scarcity of studies with the plugin in the parameterization of urbanistic norms being usually used in the spatial and volumetric development of design solutions in buildings and in components such as facades. The adopted methodology consisted of a case study in which it was

decided to validate the algorithm through its application in three residential lands, in three satellite cities of the Distrito Federal - BR, with different normative values and topographic morphology. For the algorithm, topography and four urban parameters were taken into account: occupancy rate, utilization rate, mandatory removals and maximum height. As a result, graphic representations of these parameters were obtained and data were generated as maximum dimensions of areas and heights for each of the lands, in response to the insertion of the parameters contemplated in the norm. The final volume generated by the algorithm consists of the result of the interaction of all parameters, and serves as an initial architectural solution, although it can be developed projectually, it can be used in the teaching of architecture and as documentation of entry into the approval process with the administration public.

key words: algorithm, grasshopper, parameterization, land use and occupation.

1. INTRODUÇÃO

Os métodos de produção do projeto arquitetônico são tão variados quanto às percepções e as vivências dos profissionais da área, sendo praticamente impossível traduzir ou estabelecer um método que seja aplicável universalmente. No entanto, entende-se que, temporalmente, existem temas que exercem uma atração focal e que fomentem o estudo e pesquisa, revelando novas formas de se conceber a arquitetura, atendendo as demandas da época.

É possível notar este fato na arquitetura medieval, que orbitava a representação divina e o poder religioso, na arquitetura barroca, exaltando o poder monárquico, no modernismo, ao atender os anseios de uma sociedade industrial regida por uma escala de produção em série e contemporaneamente, na influência da revolução tecnológica, construção de realidades virtuais e interação destas por meio de tecnologias de realidades aumentadas.

Segundo Baldwin (2019), toda esta interação e a utilização de Inteligência Artificial (IA) na elaboração de projetos arquitetônicos já denota uma mudança na forma que se conhece a arquitetura, pois com sistemas e ferramentas é possível simular edificações e situações específicas antes da construção, permitindo repensar as etapas do processo de projeto.

Liang e Wenshun (2019) corroboram ao mencionar que o projeto proveniente de parametrização de dados é aplicado na resolução de problemas complexos e que este modelo tem potencial de afetar profundamente a indústria arquitetônica, auxiliando no seu desenvolvimento e na qualidade.

Schumacher apud. Heidari et al (2018) disserta que está em curso um novo movimento arquitetônico definido como Parametricismo que se expressa tanto

no aspecto visual como no aspecto de processo de projeto e que após o modernismo, possivelmente, será o estilo com maior impacto no cenário das edificações globais.

Apesar das incertezas e do receio causado pelo temor quanto ao futuro dos profissionais de arquitetura e também quanto ao crescente número de empresas desenvolvendo softwares paramétricos, verifica-se que os arquitetos não estariam descartados do processo pois ainda seriam responsáveis pela elaboração dos parâmetros a serem inseridos e pelas análises técnicas e estéticas acerca das soluções geradas computacionalmente (BALDWIN, 2019).

Heidari et al.(2018) ainda definem que atualmente pode-se entender que a arquitetura paramétrica encontra-se numa fase denominada “Arquitetura Paramétrica 2.0”, ao notar que alguns arquitetos, nos estudos de concepção, já se utilizavam de parâmetros relacionáveis entre si para desenvolvimento do projeto, a diferença, atualmente, consiste apenas na adoção de tecnologia a esta forma de se produzir arquitetura.

Desta maneira, destaca-se a necessidade de uma formação mais holística da profissão de arquitetos, indo além do conhecimento básico, tendo que buscar novos conhecimentos em outras áreas como a de ciência da computação, para compreender a linguagem de programação e ser possível estabelecer parâmetros de elaboração projetuais.

Para projetos de arquitetura têm-se tornado cada vez mais popular a elaboração de parâmetros arquitetônicos por meio de algoritmos. Segundo Abrantes (2014), o algoritmo é o estabelecimento de uma sequência rígida de etapas com resultados precisos e determinados, sem espaços para ambiguidades. E segundo Henriques (2016) o algoritmo descreve o conjunto de ingredientes necessários e as quantidades necessárias, assim como a série de etapas que conduzem ao resultado esperado.

Os algoritmos organizam ações utilizando estruturas condicionais. Estas estruturas permitem criar ciclos repetitivos associados a processos de decisão, entre outros. Algoritmos podem ser expressos na forma de textos como o Visual Basic.net, conforme figura 1, ou em algoritmos visuais como os do plugin Grasshopper, conforme figura 2. (HENRIQUES, 2016).

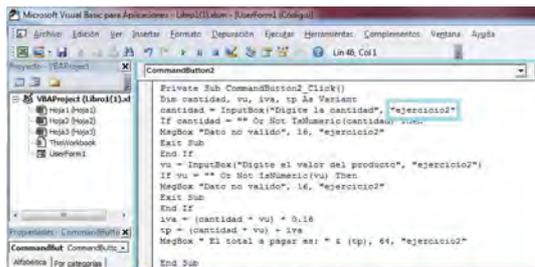


Figura 1 - Script textual (fonte:google)

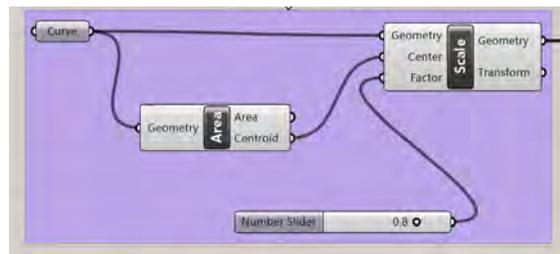


Figura 2 - Script visual (fonte:autor)

Em Zardo (2017), é corroborada esta tendência quanto à utilização de algoritmos na concepção de projetos arquitetônicos, ele disserta que uma das principais razões para que este fenômeno esteja se difundindo em arquitetura se deve principalmente aos softwares que se utilizam da linguagem de algoritmo visual, o que permite que arquitetos, que não possuem em sua formação conhecimentos de programação, possam programar por meio de caixas de comandos de ações próximas às utilizadas na produção de maquetes virtuais, estas últimas, sim, contempladas no curso de graduação.

Nessa pesquisa é apresentada uma lista dos softwares ou plugins mais populares utilizados para este fim, dentre eles se destacam o Dynamo, desenvolvido pela Autodesk, com intercambialidade com o software Revit e o Grasshopper, plugin desenvolvido pela Robert McNeel and Associated com integração direta dentro da interface do software Rhinoceros da mesma empresa. (ZARDO,2017).

O autor (ZARDO, 2017) conclui que entre os dois o que apresenta um maior número de pesquisas realizadas e publicadas é o Grasshopper com 87,5% do total analisado. De acordo com sua conclusão, isto se deve ao fato de que o plugin permite maiores possibilidades de criação geométrica, análise por ferramentas associadas e interface mais intuitiva. Porém o autor pondera quanto às potencialidades do Dynamo na manipulação de dados e criação de parâmetros funcionais em programas BIM, como o Revit.

Em sua pesquisa, Florio (2011) corrobora ao ressaltar como os softwares têm auxiliado os arquitetos, engenheiros e estudantes na criação e análise dos edifícios, principalmente os de forma orgânicas e topológicas complexas que utilizam de geometrias não euclidianas, NURBS (Non Uniform Rational Beta Splines) e parametrização.

É notório que a arquitetura se dirige a um modo operacional baseado em parametrização de forma que questões mais proeminentes e básicas possam

ser desenvolvidas por computadores, deixando a parte gerencial e de criação dos parâmetros com o arquiteto.

De acordo com Florio (2011), arquitetar não se trata mais apenas em lidar sobre elementos geométricos como linhas e planos, trata-se de operar sobre parâmetros que são estabelecidos na raiz da construção geométrica da forma. E pela manipulação, fomentar a realização de construções de grande complexidade.

Usualmente, no processo de elaboração de um projeto de arquitetura, as representações são revisadas e modificadas diversas vezes e a utilização de programas que permitem a geração de parâmetros tem se apresentado como alternativa para uma maior produtividade por meio da redução de longas horas gastas em retrabalhos. (FLORIO, 2011).

A modelagem paramétrica consiste, conforme Hernandez (2006) apud Sanches (2017): “no processo de projetar em um ambiente em que as variações de possibilidades não requerem esforços, substituindo singularidade por multiplicidade no processo de projeto”.

Um edifício e um projeto são compostos por diversos componentes e milhares de peças individuais com múltiplas conexões. Ao se utilizar a modelagem paramétrica (MP), são estabelecidas dinâmicas de agrupamento dos componentes por meio de parâmetros que facilitam a manipulação de acordo com os requisitos do projeto, da edificação e dos clientes. (FLORIO, 2011).

Em outras palavras, as ferramentas computacionais, como o Grasshopper, permitem programar os níveis de dependência entre os componentes de um projeto e por meio do uso de variáveis, chamadas parâmetros, é possível estabelecer regras e criar relações. (FLORIO, 2011).

Eastman (2008) apud Sanches (2017) disserta que os primeiros modelos paramétricos foram criados originalmente nos anos 1980 e justamente a relação de dependência entre os componentes que permite diferenciar modelos BIM de modelos tridimensionais. Para ele, modelos paramétricos se aproximam de uma abstração pois não necessariamente apresentam geometrias e propriedades físicas, mas compõe-se inteiramente de dados e de relações entre estes. Isto permite que se façam ajustes, elimine redundâncias, possíveis inconsistências e detecção de violações e inexequibilidade.

Os modelos paramétricos podem ser classificados em três tipos: o primeiro

consiste em modelos paramétricos por variações, o segundo por combinações e o terceiro modelos híbridos. Modelos por variações paramétricas permitem o ajuste dos parâmetros de partes dos objetos ou dos modelos, normalmente relacionados a variações dimensionais como tamanho, escala e proporções. O segundo modelo por combinações paramétricas, utiliza, por exemplo, de mais de uma forma geométrica estabelecida e define relações de associação entre elas, gerando diversas composições. A modelagem paramétrica híbrida consiste na junção dos dois tipos supramencionados de modelagem, onde as alterações dos parâmetros acontecem tanto nas partes que compõem os componentes dos modelos como na alteração dos parâmetros nas associações provenientes do mesmo, gerando relações estruturais mais robustas e explorações formais mais complexas. (HERNANDEZ, 2006, apud SANCHES, 2017).

Em modelos paramétricos, Eastman (2008) apud Sanches (2017) define cinco tópicos que devem ser explorados: o primeiro a estrutura relacional ou topológica, o segundo a manipulação de atributos ou propriedades, o terceiro a geração de desenhos, o quarto a escalabilidade e o quinto o gerenciamento dos modelos e ligações.

O tópico da estrutura relacional trata do levantamento e reconhecimento das conexões entre os dados que são inseridos, ou seja, definir qual o mecanismo que os conecta e estabelece uma rede de interdependência. O segundo tópico referente a manipulação de atributos e propriedades se destina a compreender as características dos dados e por meio da estrutura relacional, verificar possibilidades de associações e alterações durante o desenvolvimento do projeto. O terceiro tópico consiste na elaboração de desenhos ou representações, e nele, busca-se a criação de documentação (projeto) de maneira confiável e com minimização de erros e redundâncias. O quarto tópico quanto a escalabilidade do projeto se remete ao fato de que é necessário entender em que contexto os dados são adotados, de forma que não haja um detalhamento demasiado e exigência de processamento que exija equipamentos mais robustos e com maior memória. O quinto tópico, gerenciamento dos modelos paramétricos, encontra-se, provavelmente, o principal papel do arquiteto e do engenheiro, pois todas as definições a serem tomadas demandam um pensamento reflexivo acerca de todas as variáveis envolvidas nos demais tópicos e que não podem ser ainda executadas por uma máquina. (EASTMAN,

2006 apud SANCHES, 2017).

O novo papel que o arquiteto vem a exercer demanda dele um perfil de programador de arquitetura, levando em conta toda a edificação e considerando como dados as condicionantes que venham a interferir na sua execução. É notório o crescente número de trabalhos que utilizam modelagem paramétrica, conforme exposto por ZARDO (2017), no entanto a maioria destes trabalhos trata de estudos volumétricos, onde há parametrização dos componentes que estabelecem a forma, conforme apresentado por Florio (2011).

Por outro lado, é observada uma reduzida produção científica que leva em consideração a parametrização de requisitos normativos para o estabelecimento volumétrico, ainda que em alguns trabalhos a análise da adequação formal as normas aconteçam posteriormente pelo pesquisador.

Existem inúmeras normas que poderiam ser parametrizadas e servirem de dados ou restrições de entrada para execução de um projeto arquitetônico. Como exemplo têm-se: os planos de ordenamentos territoriais (PDOT), as normas de gabarito (NGB), as de acessibilidade, as que estabelecem saídas de emergências e até mesmo as normas de desempenho.

Para este trabalho, optou-se por abordar normas definidoras de parâmetros urbanísticos, pois são as que possuem maior influência quanto à definição das dimensões macro de uma edificação, estabelecendo dados como: alturas, áreas máximas e mínimas, recuos e percentual de ocupação num terreno.

Richtofen et al (2018) corroboram com esta abordagem ao definir que um projeto de análise urbana feito com o plugin Grasshopper requer estabelecimento sistemático dos requisitos a serem analisados, transformados em parâmetros e explicitados por meio de algoritmos.

Em específico, no estudo de caso para o Distrito Federal a norma que define os parâmetros de uso e ocupação do solo para os lotes e projeções localizados na Macrozona Urbana do Distrito Federal, fora da área tombada de Brasília é a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), ou Lei Complementar 948/2019, que passou a vigorar no lugar das NGB's.

Conforme art.4º (LC 948/2019) os objetivos da lei são: “propiciar a implementação das estratégias de ordenamento territorial expressas no Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT” e “estabelecer metodologia e critérios para definição de parâmetros de uso e ocupação do solo

de projetos de novos parcelamentos do solo compatíveis com a LUOS”.

Os critérios e os parâmetros urbanísticos de implantação da edificação em lote ou projeção são definidos no art. 10º (LC 948/2019), sendo os seguintes: I - coeficiente de aproveitamento básico; II - coeficiente de aproveitamento máximo; III - altura máxima; IV - taxa de permeabilidade mínima; V - taxa de ocupação máxima; VI - afastamento mínimo de frente, de fundo e lateral; VII - subsolo; VIII - marquise; IX - galeria; X - vaga para veículo; XI - tratamento das divisas.

Dentre estes são conceituados os quatro seguintes parâmetros urbanísticos:

O coeficiente de aproveitamento é o índice de construção que, multiplicado pela área do lote ou da projeção, define o seu potencial construtivo, definido como básico e máximo (LC 948/2019. Art. 13).

A altura máxima é a medida vertical entre a cota de soleira e o ponto mais alto da edificação, excluídos os seguintes elementos: caixa d'água e barrilete, castelo d'água, casa de máquina, antena para televisão, para-raios, infraestrutura para redes de telecomunicações, chaminé, campanário, silo, exaustor e condensadora de ar-condicionado e placa solar (LC 948/2019. Art. 15).

A taxa de ocupação é o percentual máximo da área do lote registrada em cartório que pode ser ocupado pela projeção horizontal da edificação ao nível do solo (LC 948/2019. Art. 18).

E os afastamentos mínimos para o lote são as distâncias perpendiculares entre a edificação e as divisas de frente, fundo e laterais. (LC 948/2019. Art. 19).

De todos os requisitos analisados, considera-se que estes quatro possuem maior impacto quanto a implantação da edificação no lote e também gera maior influência na volumetria desenvolvida de um projeto.

1.1 Objetivo

- Elaborar algoritmo para parâmetros de uso e ocupação do solo em terrenos residenciais unifamiliares do Distrito Federal, no plugin Grasshopper, do software Rhinoceros.

1.2 Objetivos Secundários

- Desenvolver algoritmo aplicável a terrenos da região;
- Viabilizar a pesquisa como fonte de dados para uma possível implementação em *templates* BIM.

2. METODOLOGIA

A metodologia do projeto de pesquisa é classificada como Estudo de Caso e segundo Martins (2008), ela é precedida pela exposição do problema e pelo estabelecimento de proposições que são avaliadas por meio dos resultados da pesquisa. Sendo importante, o planejamento com detalhamento dos instrumentos a serem utilizados, dos protocolos a serem executados de forma que a análise dos dados se torne o mais precisa possível e desta forma se construa uma teoria para explicação do objeto, revelando perspectivas que ainda não tenham sido abordadas por estudos semelhantes.

Neste trabalho a metodologia é composta por quatro etapas: a primeira consiste em análise e levantamento de trabalhos de referência sobre o tema e abordagem de tópicos específicos necessários ao entendimento do algoritmo, a segunda etapa consiste no desenvolvimento do algoritmo no software Grasshopper, a terceira etapa consiste na aplicação do algoritmo em três estudos de casos e a quarta etapa consiste na verificação e validação do algoritmo pelos resultados obtidos.

Na primeira etapa foram abordados quatro temas fundamentais para embasamento da pesquisa, descritos na fundamentação teórica deste artigo. O primeiro tema abordado tinha como foco definir o que é algoritmo, o segundo tópico se referia a popularização e aplicação deste tipo de linguagem em projetos de arquitetura, utilizando softwares computacionais, referenciando o Grasshopper. O terceiro tópico consistiu em definir e entender quais os procedimentos para se estabelecer uma Modelagem Paramétrica (MP). O quarto tópico abordado foi estabelecer os parâmetros urbanísticos a serem utilizados como dados de entrada do algoritmo, delimitando, por consequência, a localização dos estudos de caso, Distrito Federal.

Na segunda etapa da metodologia, desenvolveu-se o algoritmo no plugin Grasshopper, inserindo quatro parâmetros urbanísticos descritos na LUOS: Taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, altura máxima e afastamentos

mínimos obrigatórios. A estes, também, foi adicionado o parâmetro topográfico, de forma que fosse possível a inserção das dimensões dos lotes e declividade.

Na terceira etapa, foram definidos os três lotes dos estudos de caso para a modelagem paramétrica, decidiu-se que todos teriam como Uso e Ocupação do Solo (UOS) a categoria de Residencial Exclusivo (RE) ou Residencial Obrigatório (RO), em que no primeiro há unicamente o uso residencial e no segundo caso, além do uso residencial é facultado o uso não residencial simultaneamente, conforme explicitado no artigo 5º da LUOS (LC 948/2019).

O uso Residencial Exclusivo pode ser subclassificado em três tipos: RE 1 - onde é permitido exclusivamente o uso residencial, na categoria habitação unifamiliar. RE 2 - onde é permitido exclusivamente o uso residencial, na categoria habitação unifamiliar ou habitação multifamiliar em tipologia de casas. E o RE 3 - onde é permitido exclusivamente o uso residencial, na categoria habitação multifamiliar em tipologia de apartamentos ou habitação multifamiliar em tipologia de casas, combinadas ou não. (LC 948/2019).

O uso Residencial Obrigatório classifica-se em duas subcategorias: RO 1 - onde é obrigatório o uso residencial, na categoria habitação unifamiliar, sendo facultado, simultaneamente, o uso não residencial com atividade econômica realizada no âmbito doméstico, não sendo autorizado o acesso independente. RO 2 - lote localizado ao longo de vias de conexão entre conjuntos e quadras, em que é obrigatório o uso residencial, na categoria habitação unifamiliar, sendo facultado, simultaneamente, o uso não residencial exclusivamente no pavimento diretamente aberto para logradouro público e independente da habitação. (LC 948/2019).

Na quarta etapa foram feitas as considerações a respeito da aplicabilidade e limitações que o algoritmo possui, levantando possíveis pontos de melhoria e futuros estudos.

3. O ALGORITMO

O desenvolvimento do algoritmo no plugin Grasshopper, se deu, primeiramente, pela descrição do script de modelagem a partir das informações contidas numa planta baixa topográfica do terreno, dentro de um arquivo dwg exportado do software Autocad para o programa Rhinoceros e por conseguinte, o ativamente do plug-in na interface do programa.

O script do Grasshopper consiste basicamente em representações visuais de caixas de comandos de criação e edição de linhas, planos e volumes, com conectores de dados de entrada (input) e de saída (output).

A linguagem do algoritmo foi desenvolvida em cinco eixos principais, conforme descrito na figura 3, cada um deles representando um dos parâmetros a serem analisados: terreno, taxa de ocupação, afastamentos obrigatórios, altura máxima da edificação permitida e coeficiente de aproveitamento.

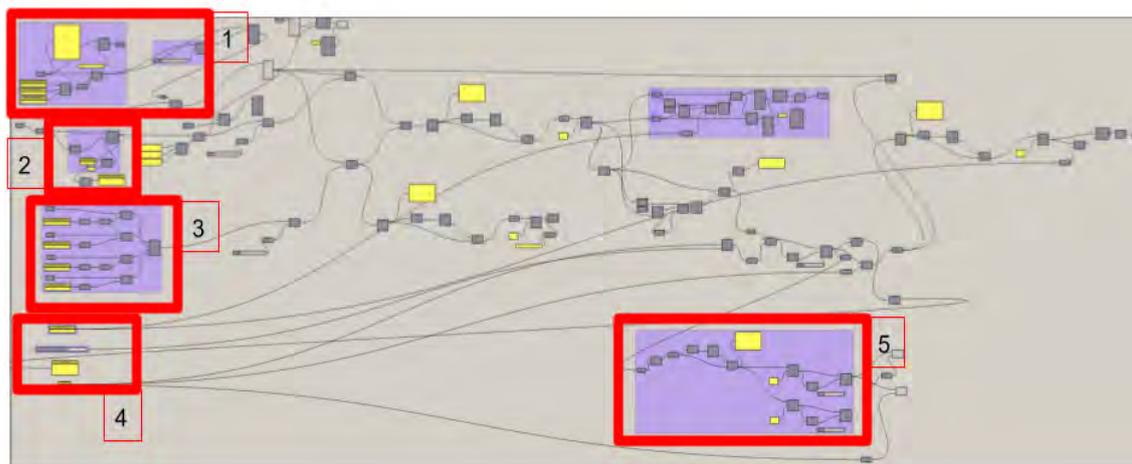


Figura 3 - Algoritmo - Legenda: 1- script terreno 2- script taxa de ocupação 3- script afastamentos obrigatórios 4- script coeficiente de aproveitamento e altura máxima 5- script coeficiente de aproveitamento para índices não inteiros (Fonte: autor)

Procurou-se tornar o algoritmo o mais intuitivo possível de forma que qualquer projetista em arquitetura com um conhecimento mínimo da interface do software pudesse inserir o arquivo fonte e com base nas especificidades normativas para cada lote, realizasse as alterações necessárias em cada um dos parâmetros por meio de uma simples mudança de valores nos campos pertinentes.

No caso, para os scripts do algoritmo referente a modelagem do terreno, foram utilizados os seguintes dados de entrada: definição dos limites do terreno e das curvas de nível. Estas representações gráficas da planta foram transformadas em dados e traduzidas para o plug-in como caixas de elementos de curvas, as quais geraram uma máscara ou cópia gráfica sobre o arquivo inicial, preservando o arquivo fonte (modelagem não destrutiva) e ao mesmo tempo gerando uma informação editável e legível ao programa.

Esta edição pode ser verificada, conforme indicado na figura 4, pelo campo destinado a inserção de valor de altura das curvas de nível, podendo efetuar mudanças automáticas no perfil do terreno com visualização instantânea no

volume resultante, reduzindo assim retrabalho com uma nova modelagem.

Após o estabelecimento do script para a modelagem da superfície do terreno, passou-se ao desenvolvimento do restante da linguagem para cada um dos quatro parâmetros urbanísticos dentro da norma de uso e ocupação do solo.

O parâmetro de taxa e ocupação do solo consistiu no estabelecimento de caixas com comandos de escala em que foi possível estabelecer uma representação gráfica sobre o terreno anteriormente modelado que indicasse graficamente o percentual de ocupação determinado normativamente. Também foi inserida uma caixa de informação na qual é possível verificar também numericamente o valor da área resultante, conforme indicado na figura 5.

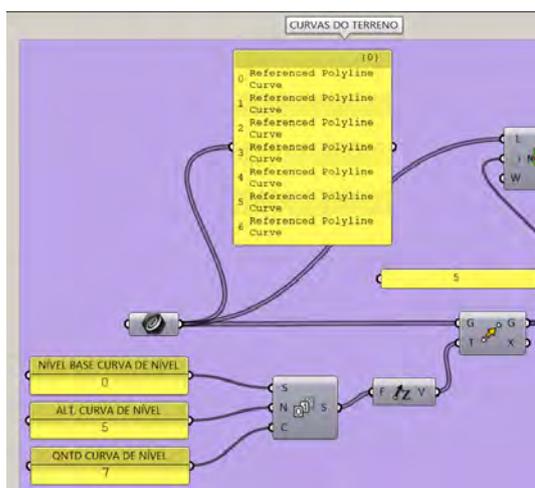


Figura 4 - Script terreno (Fonte: autor)

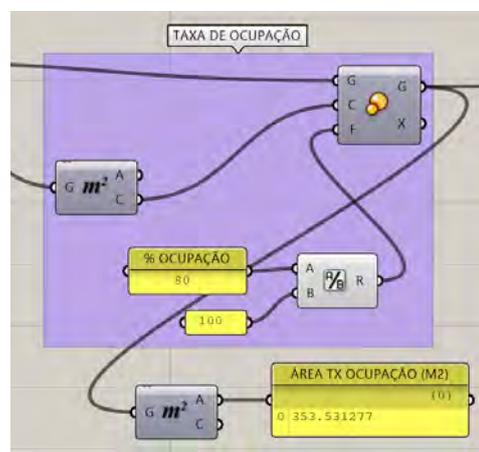


Figura 5 - Script taxa de ocupação (Fonte: autor)

O posicionamento da representação gráfica da taxa de ocupação do terreno acontece, preferencialmente centralizada ao terreno, no entanto procurou-se incrementar o script também com comandos de movimento nos eixos X e Y de forma que se possa testar a posição de uma possível implantação em outras partes do terreno.

O segundo parâmetro inserido no código de linguagem do algoritmo foi o valor para afastamentos obrigatórios dos limites do terreno, em que buscou-se criar caixas de comandos com função de movimento, que permitissem afastamentos de maneira individual para cada uma das linhas representativas dos limites do lote, em acordo com a figura 6.

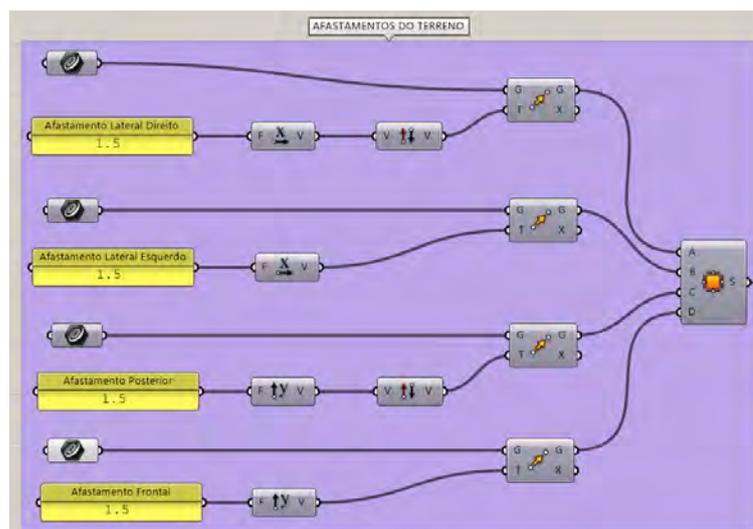


Figura 6 - Script afastamentos obrigatórios (Fonte: autor)

A definição desta parte do script ajustada ao estabelecido no script de taxa de ocupação gerou uma representação gráfica da ocupação do terreno mais acurada, ou seja, servindo como um item de restrição à área a ser ocupada dentro do percentual anteriormente definido e que não pode haver implantação da edificação. Deste modo a representação gráfica da taxa de ocupação deste item fica reduzida caso se sobreponha com a área dos afastamentos.

Para a parametrização do requisito coeficiente de aproveitamento, que demonstra qual a área máxima que uma edificação poderia ter dentro da área base da taxa de ocupação, o algoritmo utiliza de caixas com comandos de movimento seriado de maneira a gerar planos dos pavimentos, referenciando a posição e a área gerada no plano ou superfície da taxa de ocupação.

Como dados de entrada para esta parte do script foram utilizadas a taxa do coeficiente de aproveitamento e a altura do pé direito dos pavimentos, conforme expressado na figura 7. Também foi adicionado uma caixa de informação para demonstração da área total de todos os pavimentos, que poderá ser usada em conferências.

Ainda com relação ao script do coeficiente de aproveitamento, foi elaborada uma ramificação do algoritmo para que o mesmo possa abarcar índices com valores numéricos não inteiros e produza volumetrias com pavimentos com distinção de áreas.

O último item parametrizado no algoritmo, refere-se a altura máxima permitida para a edificação. Para isto no script, foi gerado um campo onde é possível inserir o valor desta altura, conforme figura 7, que resulta na

representação gráfica de um volume que indica o limite da edificação dentro dos demais parâmetros abordados anteriormente.

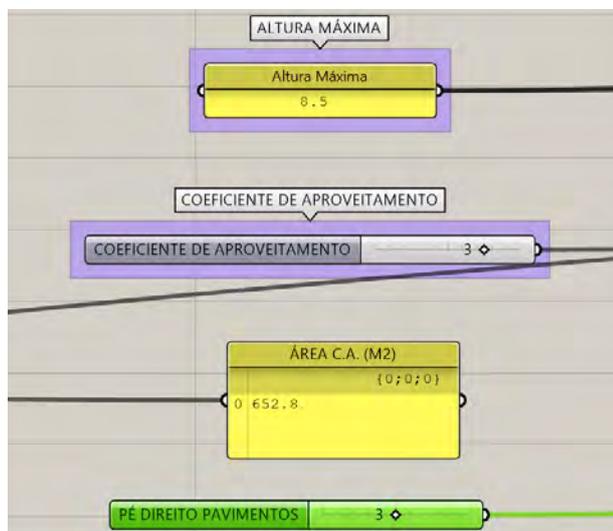


Figura 7 - Script coeficiente aproveitamento e altura máxima (Fonte: autor)

Esta altura máxima leva em consideração o ponto médio central do terreno o que equivaleria a cota de soleira estabelecida em norma e usualmente fornecida pela administração pública. Este fator é relevante principalmente para terrenos com inclinações consideráveis, a fim de evitar projeções das edificações situadas acima dessa marcação.

A parametrização desses requisitos permite ao projetista, em etapas iniciais, a testagem de diversos percentuais de ocupação para um lote, de determinação de áreas edificantes, de adequações no terreno e de alturas possíveis, verificando e demonstrando para contratantes e administração pública qual seria a condição mais viável a ser implantada dentro dos limites de norma, auxiliando na justificativa quanto ao partido pretendido.

Outra vantagem ao se parametrizar estes itens consiste em permitir ao analista do projeto ter uma visão rápida da conformidade do projeto quanto a norma e também ao projetista efetuar as alterações em etapas posteriores do projeto sem ter de refazê-lo completamente desde o início e implementar medidas corretivas.

4. ESTUDOS DE CASO

No intuito de verificar a validade, atestar as aplicações e as limitações do algoritmo de parametrização da norma de uso e ocupação do solo do Distrito Federal, foram definidos três lotes de uso residencial situados em cidades

satélites distintas que possuíssem variações quanto aos parâmetros urbanísticos e tipologia formal a serem analisados.

O estudo de caso 1 refere-se ao lote 1, ver figura 8, situado na cidade de Taguatinga, no endereço QNE 2 lote 40, classificado em acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo, LUOS como RO 2, ou seja, de uso Residencial Obrigatório do tipo 2, destinado a habitação unifamiliar com possibilidade de existência dos demais usos no pavimento térreo.

Para este lote são observados os seguintes parâmetros urbanísticos: taxa de ocupação de 80%, coeficiente de aproveitamento básico igual a 2, altura máxima de 10,5 metros e não há exigências de afastamentos obrigatórios em nenhum dos limites, no entanto, na pesquisa, considerou-se 1,5 metros, que é a distância mínima para que ocorra ventilação e iluminação naturais, segundo o código de edificações do Distrito Federal.

Uma alteração realizada neste terreno foi quanto a sua declividade, onde adicionaram-se, artificialmente, 4 curvas de nível a mais, a fim de atestar a validade do algoritmo para terrenos com inclinações maiores, uma vez que para o desenvolvimento do algoritmo foi utilizado este lote como referência.

O estudo de caso 2 consiste na aplicação dos parâmetros urbanísticos ao lote situado na cidade de Planaltina, no endereço quadra 18, lote 19, na Vila Vicentina, classificado em acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo, LUOS também como RO 2, ou seja, de uso Residencial Obrigatório do tipo 2.

Optou-se por este lote, por ser de esquina e ter sua morfologia distinta aos lotes padrões retangulares, possuindo uma forma triangular e sendo composto por cinco extremidades. A intenção ao escolhê-lo consistia em verificar se o algoritmo seria aplicável também a terrenos não usuais.

Para o Lote 2, ver figura 8, são observados os seguintes parâmetros urbanísticos: taxa de ocupação de 80%, coeficiente de aproveitamento básico igual a 1,40, altura máxima de 9,5 metros e não há exigências de afastamentos obrigatórios em nenhum dos limites, e, novamente, considerou-se os afastamentos de 1,5 metros.

No estudo de caso 3 aplicou-se o algoritmo a um terreno de chácara com cerca de 9600 metros quadrados de área, e com declividade elevada, de aproximadamente 30 metros, situado no Setor Taquari sob a tutela da administração do Lago Norte, no endereço Quadra 2, conjunto 9A, chácara 4. O

lote é classificado na LUOS como RE 1 - SHTq Tr 1, para lotes de grandes dimensões, em que é permitido apenas o uso residencial unifamiliar.

Para o Lote 3, ver figura 8, são observados os seguintes parâmetros urbanísticos: taxa de ocupação de 15%, coeficiente de aproveitamento básico igual a 0,30, altura máxima de 9,5 metros, afastamento frontal com 5 metros, os afastamentos laterais de 1,5 metros e não há exigências de afastamento de fundos, apesar de se adotar o valor mínimo de 1,5 metros.

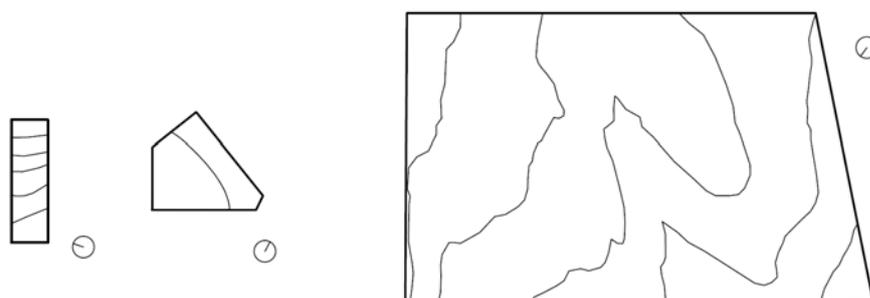


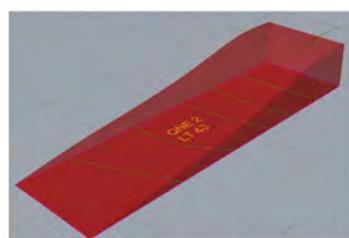
Figura 8 - Lote 1, Lote 2, Lote 3 (Fonte: autor)

5. RESULTADOS

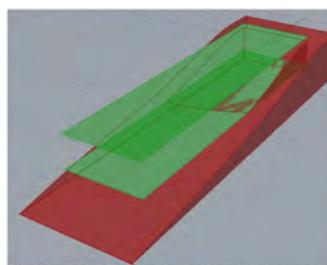
A modelagem do terreno do Lote 1 ocorreu sem ocorrência de distorções, preservando os dados como distâncias e alturas (neste caso de 1 em 1 metro), entre as curvas de nível, gerando uma superfície íntegra, condizente com a representação do arquivo fonte.

É possível constatar, também, a representação de todos os parâmetros urbanísticos que foram analisados, sendo expressos graficamente individualmente ou condicionados a definição da volumetria final obtida pela aplicação de todos os parâmetros em conjunto.

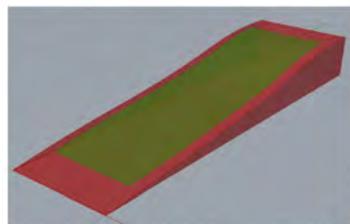
Nas imagens expressas, na Figura 9, percebe-se a identificação gráfica da taxa de ocupação de 80% para o lote, assim como as das taxas de afastamentos de 1,5 metros das extremidades do terreno sobre a superfície do terreno gerada pelo algoritmo.



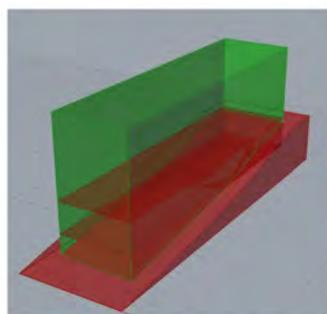
Lote 1 - volumetria do terreno



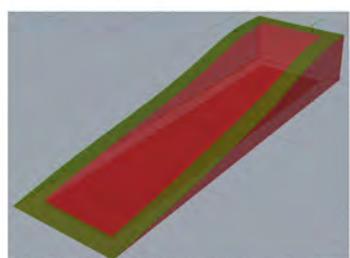
Lote 1 - coeficiente de aproveitamento =2



Lote 1 - indicação taxa de ocupação =80%



Lote 1 - indicação de altura máxima = 10,5m e volumetria final definida dentro dos parâmetros de norma.



Lote 1 - afastamentos adotados =1,5m

Figura 9 - Resultados da aplicação do algoritmo no Lote 1 demonstrando os parâmetros urbanísticos

Vale ressaltar que devido aos afastamentos obrigatórios a área resultante ($217,00\text{m}^2$) da taxa de ocupação ficou ligeiramente menor que a definida em norma ($272,00\text{m}^2$), o que causou também redução no cálculo da área total da edificação ($434,00\text{m}^2$) estabelecido pelo coeficiente de aproveitamento, resultando num valor distinto ao valor máximo ($544,00\text{m}^2$), porém em ambos os casos ainda encontram-se contemplados em norma.

No entanto como o afastamento de 1,5 metros não é obrigatório caso não haja abertura em determinada fachada é possível reduzir o valor deste afastamento ou até mesmo anulá-lo ao encostar a edificação em um dos limites laterais do terreno e assim obter os valores máximos de taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento para o Lote 1.

Ainda pela aplicação do algoritmo no Lote 1, na Figura 9, sucede-se a representação do coeficiente de aproveitamento igual ao valor de 2, apresentado como planos de pavimentos sobre a área proveniente da marcação da taxa de ocupação. E por último a geração volumétrica de uma possível solução edilícia

considerando a altura máxima, para o lote, de 10,5 metros com indicação dos pavimentos no seu interior.

No segundo estudo de caso, o algoritmo também foi capaz de gerar uma superfície fiel aos dados do arquivo fonte, ainda que o seu perímetro não fosse usual (retangular). A representação considerou ainda a pequena inclinação em aclave de 2 metros em seu interior.

Na figura 10, pode-se perceber, que ao contrário do Lote 1, no Lote 2 não houve uma sobreposição das áreas da taxa de ocupação de 80% (441,60m²) e dos afastamentos de 1,5 metros e, portanto, a área resultante (618,24m²) para a aplicação do coeficiente de aproveitamento não se tornou reduzida.

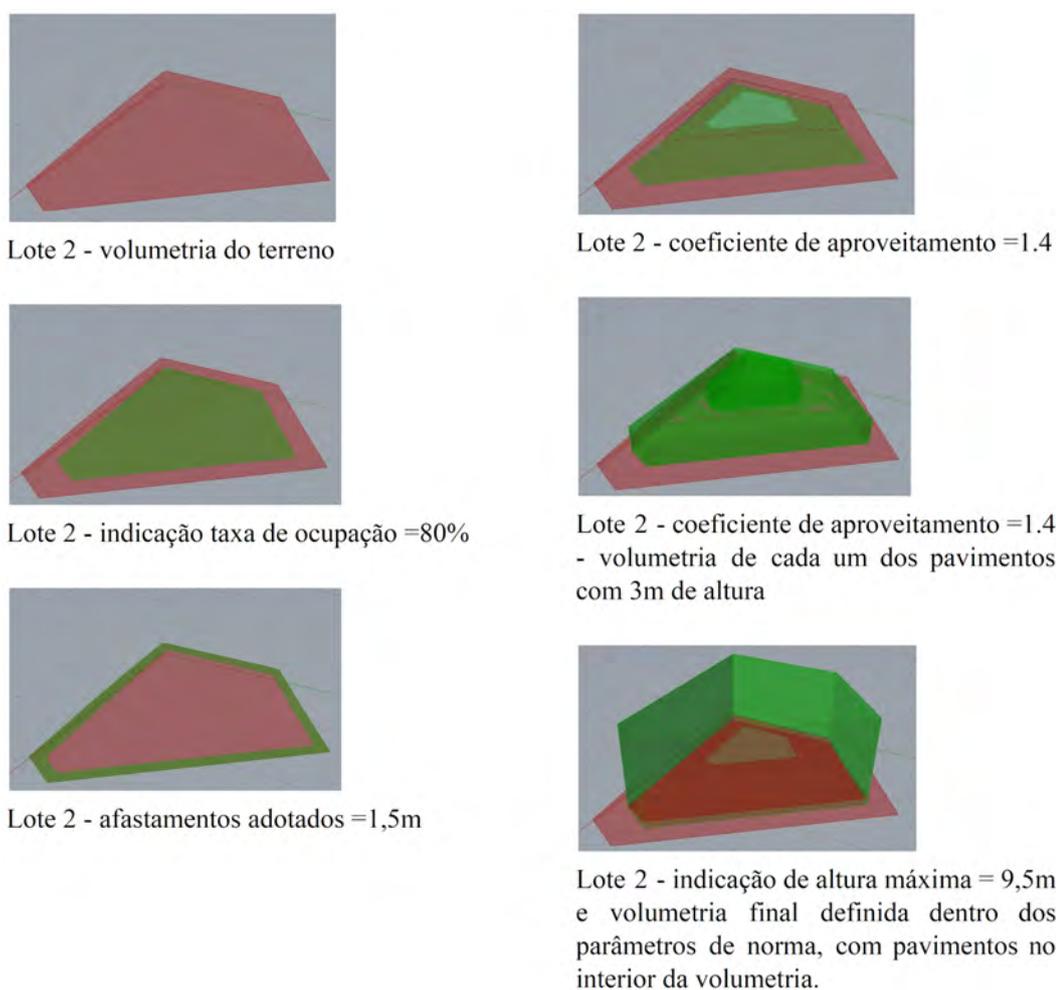


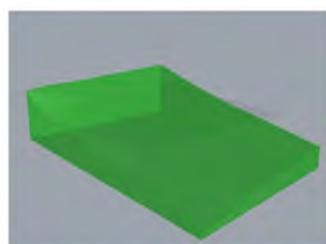
Figura 10 - Resultados da aplicação do algoritmo no Lote 2 demonstrando os parâmetros urbanísticos

Possivelmente, a grande questão a ser resolvida no Lote 2, não era necessariamente o seu formato, mas o índice do coeficiente de aproveitamento que consiste em um número não inteiro, igual a 1,4. Este valor indica que um dos pavimentos deve ou pode possuir uma área igual a da taxa de ocupação, no

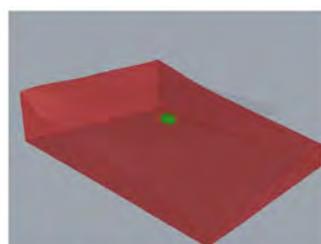
entanto o segundo pavimento poderia possuir somente 40% desta área, o que obviamente resultaria numa volumetria não retangular ou se retangular com a presença de vazios no plano do segundo pavimento.

Desta forma, a solução foi criar uma ramificação dentro do algoritmo que abarcasse o CA de números não inteiros e o resultado gráfico é a alteração de área que ocorre entre o primeiro e o segundo pavimentos da edificação, gerando uma volumetria piramidal ou uma volumetria com altura máxima de 9,5 metros da norma, sendo o segundo pavimento uma área reduzida em seu interior, referindo-se a 40% (176,64m²) da área do primeiro, conforme figura 10.

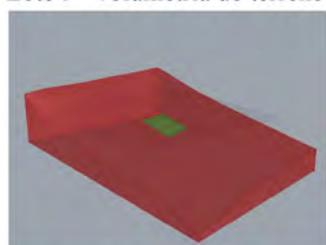
Para o terceiro estudo de caso, no Lote 3, ao contrário dos lotes anteriores que possuíam uma inclinação ascendente a partir da fachada frontal, este tinha uma inclinação descendente e no script de modelagem do terreno foi necessário fazer ajustes em relação a orientação do terreno e suas curvas de nível no script do programa a fim de gerar a superfície do terreno, conforme demonstrado na Figura 11.



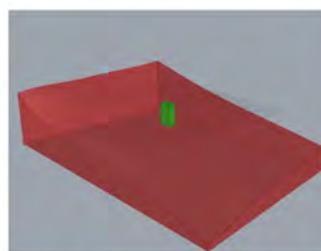
Lote 3 - volumetria do terreno



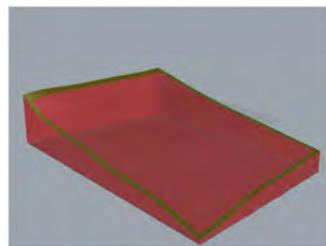
Lote 3 - coeficiente de aproveitamento = 0,3 com pé direito de 3m



Lote 3 - indicação taxa de ocupação =15%



Lote 3 - coeficiente de aproveitamento = 0,3 com pé direito igual a altura máxima de 9,5m



Lote 3 - afastamentos obrigatórios = AF = 5m, AL = 1,5m, AF=0,00m (1,5m adotado)

Figura 11 - Resultados da aplicação do algoritmo no Lote 3 demonstrando os parâmetros urbanísticos

Devido o lote ter cerca de quase 1 hectare de área, a representação da área da taxa de ocupação, de 15% (1456,00m²), e das áreas dos afastamentos frontais (5 metros) e laterais (1,5 metros) tornaram-se menos destacados em relação à dimensão total. No entanto demonstram a potencialidade da implantação da residência em diversos pontos dele.

O coeficiente de aproveitamento para o terreno consiste em 0,3 da área da taxa de construção o que equivaleria a 437,00m² de área construída, o que é bastante considerável para uma habitação unifamiliar, mas, novamente, a representação torna-se minúscula ao comparar com o terreno. Na figura 11, foram feitas duas apropriações da área construída, a primeira com a altura de um pavimento de 3 metros e a segunda com a altura máxima de 9,5 metros. Deve se dizer que esta residência poderia ter mais de um pavimento desde que houvesse redução na área ocupada pelos pavimentos e não ultrapassasse o limite de altura.

6. CONCLUSÕES

Como descrito no objetivo principal, acredita-se que a pesquisa obteve êxito ao desenvolver o algoritmo e inserir no script de programação todos os parâmetros urbanísticos das normas de uso e ocupação do solo, que se propõe, dentro da realidade do Distrito Federal.

Pela aplicação do algoritmo nos estudos de casos verificou-se que o algoritmo de um modo geral atende e contempla os parâmetros urbanísticos. Foi possível demonstrar, extrair e parametrizar as informações quanto às taxas de ocupação, de altura máxima permitida, de afastamentos, de potenciais construtivos e de diferentes morfologias topográficas de terrenos.

Ao se parametrizar tais informações, gerou-se uma volumetria arquitetônica residencial que ainda que demande um maior desenvolvimento de um ponto de vista conceitual e projetual, atende perfeitamente aos principais requisitos normativos.

No entanto vale salientar limitações e cuidados que devem ser tomados na aplicação do algoritmo, principalmente no que tange a organização das informações e também o nível de domínio dos softwares que serão usados.

Um fator positivo em relação a interoperabilidade é que os arquivos

compartilhados entre os softwares Autocad e Rhinoceros não sofrem perdas de dados relevantes e os transmitem com fidelidade e precisão, ainda que pertencentes a empresas concorrentes.

Como exemplo de organização, pode-se citar que é necessário que o arquivo fonte, no formato .DWG, tenha separadamente organizado o contorno do terreno e as curvas de nível em *layers* distintos, ainda que para isto haja duplicidade de representações nele, a fim de que ao exportar o arquivo, possa atribuí-los separadamente aos campos devidos no algoritmo, sem prejuízos provenientes do conflito de dados. E com isto é importante saber gerir os *layers* no Rhinoceros.

Deve-se citar ainda que no arquivo CAD a representação do terreno esteja preferencialmente desenhada próxima às coordenadas 0,0,0 do programa de maneira que seja exportado para a mesma posição no programa Rhinoceros.

Outro fator importante é ter o entendimento que as modelagens ou alterações que porventura aconteçam no algoritmo devem sempre levar em consideração caixas de comandos entre componentes iguais de mesma natureza, ou seja, se as modelagens acontecem dentro da lógica de superfícies do tipo *nurbs*, deve-se evitar trabalhos com superfícies do tipo *mesh*, no intuito de evitar alterações nestes formatos constantemente e erros por incompatibilidade.

Ainda dentro da lógica do algoritmo é necessário ter algum domínio do plugin Grasshopper pois dependendo do tipo de terreno é necessário fazer alterações quanto a orientação do arquivo, como exemplo o limite da fachada frontal deve sempre ser colocado sobre o eixo de coordenadas X e o limite de fundos com deslocamento positivo no eixo Y. Do contrário seria necessário rever o sentido de deslocamentos dentro do algoritmo para os afastamentos obrigatórios.

Para terrenos multifacetados é necessário agrupar as linhas de representação dos seus limites de forma que sejam definidas quatro fachadas principais a fim de introduzi-las dentro do script de afastamentos do terreno.

Como principais pontos de melhoria para o algoritmo, considera-se que possa haver, ainda, uma maior integração entre os scripts dos parâmetros urbanísticos, principalmente quanto ao parâmetro coeficiente de aproveitamento com índice de números não inteiros. Outro ponto seria com relação ao aprimoramento de algumas relações do algoritmo quanto a orientação da planta.

E o último ponto consistiria em desenvolver a estética da interface dos modelos gráficos apresentados pelo algoritmo e com isto providenciar estudos mais aprofundados da tipologia arquitetônica a ser adotada.

Como aplicações práticas, o algoritmo pode ser utilizado como instrumento de ensino ao ter de explicar a estudantes as normas urbanísticas e como seria possível trabalhar tais parâmetros para se obter volumetrias e implantações mais complexas.

Ou ainda como documentação para embasamento de projeto junto aos clientes e administração pública, principalmente nas etapas iniciais de aprovação de projeto arquitetônico como, Consulta Prévia e Viabilidade Legal, previstas no código de edificações do DF, quando, justamente, são analisados o cumprimento aos parâmetros urbanísticos. As representações gráficas geradas pelo algoritmo poderiam ser utilizadas como croquis, em que são expressas as intenções projetuais e que servem como documentação nesta etapa da aprovação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, Paulo César. **Método e ciência: uma abordagem filosófica**. 2a Edição. Belo Horizonte, MG: Fino Traço, 2014.

BALDWIN, E. **Futuros da BuildTech: inteligência artificial e machine learning**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/924918/futuros-da-buildtech-inteligencia-artificial-e-machine-learning>>. Publicado em: 18/09/2019.

DISTRITO FEDERAL. **Lei Complementar nº 948, de 16 de Janeiro de 2019. Lei de uso e ocupação do solo**. Disponível em: <http://www.buriti.df.gov.br/ftp/diariooficial/2019/01_Janeiro/DODF%20012%2017-1-2019%20SUPLEMENTO%20A/DODF%20012%2017-01-2019%20SUPLEMENTO%20A.pdf>. Acesso em: 18 set. 2019.

FLORIO, Wilson. **Modelagem paramétrica, criatividade e projeto: duas experiências com estudantes de arquitetura**. Gestão e Tecnologia de Projetos [ISSN: 19811543] DOI: 10.4237/gtp.v6i2.211 Volume 6, Número 2 | Dezembro, 2011.

HEIDARI, A.; SAHEBZADEH, S.; SADEGHFAR, M.; ERFANIAN TAGHVAEI, B. **Parametric architecture in it's second phase of evolution**. Journal of Building Performance, ISSN: 2180-2106, Volume 9 Issue 1 2018.

HENRIQUES, G. C. **Arquitetura algorítmica: Técnicas, processos e fundamentos**. IV ENANPARQ - Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Porto Alegre, 25 a 29 de Julho de 2016.

LIANG, Z.; WENSHUN, W. **Parametric architectural design based on optimization algorithm**. Engineering Heritage Journal - GWK, pg. 13-17, 2019.

MARTINS, G. de A. **Estudo de caso : uma estratégia de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008.

RICHTHOFEN, A.; KNECHTA,K.; MIAO, Y.;KÖNIG,R. **The ‘Urban Elements’ method for teaching parametric urban design to professionals**. Frontiers of Architectural Research 7, pg. 573–587. Southeast University, 2018.

SANCHES,Leonardo. **Parametrização e sistemas generativos como apoio à tomada de decisões em projetos de arquitetura aplicados à legislação urbana da cidade de Juiz de Fora**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Juiz de Fora,2017.

ZARDO,P; DA SILVA, J.L.; MUSSI, A.Q. **Dynamo e Grasshopper: difusão científica e popularidade entre usuários**. X Mostra de Iniciação Científica e Extensão Comunitária, 2017.

IX

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES PÚBLICAS:
O CASO DA PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA**

**USE OF RAINWATER IN PUBLIC BUILDINGS: THE CASE OF THE
ATTORNEY GENERAL'S OFFICE**

Stefano Galimi

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Brasília – DF, Brasil
stefanogalimi.arch@gmail.com

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Brasília – DF, Brasil
joaocpantoja@gmail.com

Resumo: O presente trabalho aborda uma análise dos usos-finais de consumo da água em uma das edificações principais (bloco A) constituinte a Procuradoria Geral da República, obra prima de autoria do Oscar Niemeyer. O sistema de aproveitamento de águas pluviais (AAP), que não foi previsto na concepção arquitetônica do prédio em questão, seria uma solução sustentável na redução do uso da água da rede principal para usos não potáveis da água de chuva. Através de um cálculo feito em base mensal, será verificada a relação entre a área de coleta (cobertura) e o volume ideal da cisterna, a demanda de água requerida para três cenários (Irrigação + Lavagem de pisos, Descarga sanitária e Irrigação + Lavagem de pisos + Descarga sanitária) e o potencial de redução do consumo de água promovido pelo sistema AAP. Para alcançar o objetivo, foi utilizada a normativa brasileira ABNT NBR 15527:2207 e, na hora do cálculo para dimensionamento do reservatório de água de chuva, o método de Rippl. Nesse método, que consiste no balanço de massa, permitindo o uso de dados de precipitação mensal ou diário, é considerada a demanda de consumo dos usuários.

Palavras chaves: Água; Sistema de aproveitamento de águas pluviais (AAP); Usos-finais de água; Conservação de água; Procuradoria Geral da República.

Abstract: The present work deals with an analysis of the end-uses of water consumption in one of the main buildings (block A) of the Attorney General's Office, a masterpiece by Oscar Niemeyer. The rainwater harvesting system (AAP), which was not foreseen in the architectural design of the building in question, would be a sustainable solution in reducing the use of water from the main network for non-potable uses of rainwater. Through a calculation made on a monthly basis, the relationship between the collection area (cover) and the ideal volume of the cistern will be verified, the water demand required for three scenarios (Irrigation + Floor washing, Sanitary flush and Irrigation + Water washing) floors + sanitary discharge) and the potential for reducing water consumption promoted by the AAP system. To achieve the objective, the Brazilian standard ABNT NBR 15527: 2207 was used and, at the time of calculation for dimensioning the rainwater reservoir, the Rippl method. In this

method, which consists of the mass balance, allowing the use of monthly or daily precipitation data, users' consumption demand is considered.

Keyword: water, rainwater harvesting system (AAP), end-uses of water, water conservation, Attorney General's Office

1. INTRODUÇÃO

Em geral, no Brasil, a oferta de recursos hídricos demonstra uma situação confortável e satisfatória (ANA, 2013). Apesar disso, a distribuição espacial desses recursos está diferente e desigual, evidenciando uma concentração maior (cerca de 80%) na região hidrográfica amazônica. O crescimento demográfico (IBGE, 2012) e a demanda urbana de água sempre em aumento no Distrito Federal (CAESB, 2008; 2011) começou a gerar um interesse sempre maior voltado para programas de conservação de água. Segundo Gonçalves (2007), a utilização de águas “menos nobres” para fins não potáveis é um conceito importante que atua uma otimização real do consumo hídrico, graças ao auxílio de fontes alternativas.

O aproveitamento de águas pluviais (AAP) é uma estratégia que permite de armazenar a água de chuva captada pelo telhado e de utilizá-la para fins não potáveis. A normativa brasileira ABNT NBR 15527:2007 fornece os requisitos fundamentais para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas e prevê o uso exclusivo (após de tratamentos adequados) para descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos de água e usos industriais.

1.1 Justificativa

A escassez dos recursos hídricos leva à uma certa mudança do próprio regime das águas (tornando-as de domínio público), focando a atenção na preservação dos cursos d'água e relativa qualidade (FINK & SANTOS, 2003).

O termo “reuso” indica que a natureza do significado se refaz ao próprio uso racional da água (FINK & SANTOS, 2003).

“Reuso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir a necessidade de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações

planejadas ou não”.

(LAVRADOR FILHO, 1987).

A grande demanda de consumo hídrico que afeta as fontes de abastecimento de água, levou o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2014) a recomendar a conscientização de um uso racional dos recursos através dos Programas de Conservação de Água.

A Procuradoria Geral da República, obra realizada em 2002, incentivou o presente estudo, que foi feito para verificar a viabilidade técnica e financeira de aplicação de um sistema de AAP em uma edificação pública. Com certeza, a instalação desse tipo de tecnologia seria ideal numa edificação nova, enquanto os retrofits sempre apresentam uma barreira projetual significativa do ponto de vista econômico.

O próprio sistema de AAP é um conceito simples que, ao invés de deixar a água de chuva escorrer pela sarjeta, permite o aproveitamento da mesma para diferentes usos-finais não potáveis (SANT’ANA & AMORIM, 2007).

A qualidade da água de chuva, que representa um ponto focal nesse estudo, deve ser garantida por meio de filtragens e tratamentos químicos/biológicos.

Mesmo sendo pura, a água pluvial contém impurezas devidas ao contato com o ar e com a superfície de captação (telhado).

“Apesar de ser uma alternativa economicamente viável e sócio ambientalmente correta, o aproveitamento de águas pluviais não deve ser implementado de forma irresponsável. Diversas pesquisas demonstram que a água de chuva carrega poluentes (substâncias tóxicas e bactérias), cuja ingestão ou contato com a pele e mucosas pode causar doenças, que vão desde simples irritações cutâneas a severas infecções intestinais.”

(PRADO & MULLER, 2007. p.1).

Ao tratar esse tipo de tema ligado a aplicações (de sistemas de AAP) para tipologias não-residenciais de estudos de caso, não foram feitas muitas pesquisas nacionais no Brasil. Temos algumas análises dos usos-finais do consumo de água em edifícios públicos feitas por KAMMERS & GHISI (2006), e em edifícios escritórios em Florianópolis (PROENÇA & GHISI, 2010). Um outro estudo em ambiente de escritórios do Complexo Central de Tecnologia do Banco do Brasil, realizado por SANT’ANA (2013), mostra o potencial de redução do

consumo de água (em seus usos-finais) e benefícios gerados pelo uso de três diversos sistemas de AAP.

Para a elaboração do artigo foi realizada uma revisão de literatura específica sobre os tipos de sistemas de AAP, qualidade da água e relativa normativa brasileira.

Portanto, esse trabalho pretende avaliar a aplicação de um sistema de AAP em uma edificação pública do Distrito Federal, a Procuradoria Geral da República, e verificar os usos-finais do consumo predial de água.

2. METODOLOGIA

A Procuradoria Geral da República (PGR) é um conjunto arquitetônico projetado por Oscar Niemeyer em 1996 e realizado em 2002, formado por 6 blocos. A produção artística do arquiteto na capital federal do Brasil, descrita e analisada por várias figuras em nível tanto nacional quanto internacional, ainda não tem muitos estudos sobre as soluções tecnológicas adotadas pelo arquiteto brasileiro (Fonseca, R., 2007). A obra, consta de uma área construída de aproximadamente 70 mil m². Localizada na via L4 sul (Setor de Administração Federal Sul, quadra 04, lote 03) em Brasília, a PGR (Figura 1) se impõe no entorno através da magnitude e da beleza dos dois edifícios principais envidraçados (bloco A e bloco B).

Esses blocos, interligados por meio de uma passarela, abrigam os gabinetes dos procuradores e representam o fulcro de todo o complexo.

Conectados a estes por meio de uma longa passarela, há dois volumes menores que representam o auditório (bloco C) e o restaurante (bloco D).

Um outro prédio, de volumetria circular e próximo do prédio principal, funciona como plenário dos procuradores (bloco E). O último bloco (F), de planta trapezoidal, contém o próprio departamento administrativo e da engenharia da Procuradoria.

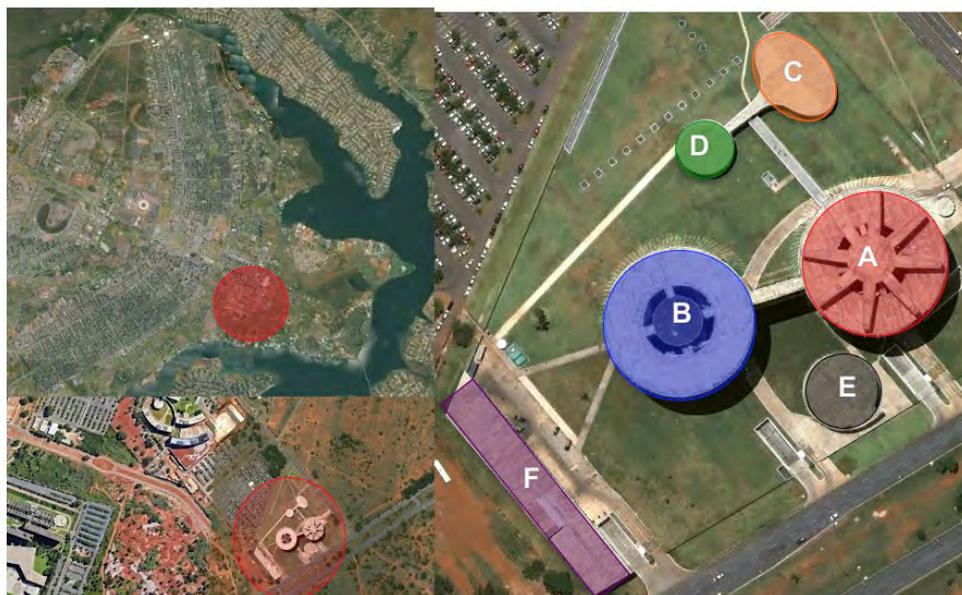


Figura 1. Procuradoria Geral da República, fonte: Google Earth

O objeto escolhido para a análise dos usos-finais de consumo hídrico foi o edifício A (Figura 2).



Figura 2. Bloco A do complexo da PGR, fonte: arquivo PGR

A pesquisa foi desenvolvida a partir de duas etapas fundamentais: Visita in loco e entrevista a usuário-chave.

Primeiramente, foi feita uma visita in loco para entender a distribuição espacial do ambiente e ter noção do fluxo/número dos usuários da edificação. Nessa etapa foram obtidas todas aquelas informações úteis sobre os dias (5 dias por mês, de segunda à sexta) e os horários de trabalho (9hs – 17hs), frequências das atividades de limpeza (lavagem de piso, 2 vezes por dia, de manhã e de

noite) e de irrigação (1 vez por dia, no período matutino).

A segunda fase foi desenvolvida através de entrevistas aos usuários-chave da Procuradoria (servidores públicos e funcionários). Após dessa operação, efetuada por meio de uma amostra limitada a um número de quatro usuários, utilizou-se uma frequência de uso das bacias sanitárias relativa a 4 vezes ao dia com um volume de descargas sanitárias de 6 litros por fluxo (valor presumido).

Através da obtenção do arquivo DWG das plantas de arquitetura, foi possível medir as áreas de rega de jardim e de lavagem de piso.

Depois de ter feito o levantamento completo de dados primários e das informações necessárias para o desenvolvimento do artigo, foram escolhidos três cenários de usos-finais de consumo hídrico:

- **Cenário 1** (Irrigação e Lavagem de piso);
- **Cenário 2** (Descarga Sanitária, WC);
- **Cenário 3** (Irrigação, Lavagem de piso e Descarga Sanitária).

Obtidas as médias mensais de séries históricas de precipitação da cidade de Brasília, foi considerado um coeficiente de escoamento (C_e) = 0,7 (LEGGETT et al., 2001) e um coeficiente de filtragem (C_f) = 0,9 de um filtro tipo “Vortex”.

Portanto, com base nesses dados, para conseguir a Oferta de água pluvial no intervalo de tempo t , foi aplicada a seguinte equação 1:

$$Qt = \frac{PPt \times A \times C_e \times C_f}{1000} \quad (1)$$

Onde:

Qt = Oferta de água pluvial no tempo, t (m³)

PPt = Precipitação no tempo, t (mm)

A = Área da superfície de coleta (m²)

C_e = Coeficiente de escoamento da superfície de coleta

C_f = Coeficiente de filtragem

No Cenário 1 (Irrigação e Lavagem de piso) foram consideradas diferentes demandas mensais.

No caso da irrigação, foram considerados somente os cinco meses da época de seca (maio, junho, julho, agosto e setembro), onde a oferta de água pluvial é consideravelmente escassa.

Para a demanda de lavagem de piso, o cálculo foi feito em base a todos os meses do ano (de janeiro à dezembro).

No Cenário 2 (Descarga Sanitária, WC), todos os meses do ano foram utilizados para o cálculo da demanda para consumo predial de água.

Os indicadores de consumo, que permitiram o cálculo da demanda para irrigação, lavagem de piso e descarga sanitária para todos os cenários, foram obtidos através de TOMAZ (2000).

Achada a oferta de água pluvial Q_t (m³) para todos os meses do ano, foram calculados a demanda de consumo hídrico para cada Cenário e a dimensão do reservatório através do método Rippl (NBR 15527:2007). Neste método, onde podem-se usar as séries históricas mensais ou diárias, o volume de água que escoar pela superfície de captação é subtraído da demanda de água pluvial em um mesmo intervalo de tempo t . É um método de cálculo de volume de armazenamento necessário para garantir uma vazão regularizada constante durante o período mais crítico de estiagem observado (SCHILLER & LATHAN, 1982).

Segundo o método Rippl, foi aplicada essa equação 2:

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (2)$$

$V = \sum S(t)$, somente para valores $S(t) > 0$

Sendo que: $\sum D(t) < \sum Q(t)$

Onde:

$S(t)$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$Q(t)$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t ;

$D(t)$ é a demanda ou consumo no tempo t ;

V é o volume do reservatório;

No Cenário 3 foi comparada a somatória das demandas cumulativas (irrigação, lavagem de piso e descarga sanitária) com a oferta mensal de água de chuva captada pelo telhado.

3. RESULTADOS

Os resultados demonstraram uma demanda predial cumulativa (D_t) com de 115.534 m³/ano para irrigação, lavagem de piso e descarga sanitária. Porém, a oferta cumulativa Q_t com de volume de água de chuva em base anual é de 14.196 m³/ano. Como podemos observar na tabela 1 (Irrigação), a demanda mensal D_t (Irr) para os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro é muito

elevada (4.688 m³/ano) para ser suprida pela oferta Qt (2106 m³/ano).

Tabela 1. Indicadores de consumo mensal para Irrigação

Mês	PP	Irrigação	Indicador	Frequência*	Área	Dias de Uso por mês	Oferta (Qt)	Demanda (Dt Irr)
	mm		litros/m ² /dia	*por dia de uso	m ²	dias/uso	m ³	m ³
Janeiro	270	x	1,5	1	23.500	27	361	-
Fevereiro	213	x	1,5	1	23.500	24	284	-
Março	210	x	1,5	1	23.500	27	280	-
Abril	121	x	1,5	1	23.500	26	162	-
Maio	36	v	1,5	1	23.500	27	48	952
Junho	10	v	1,5	1	23.500	26	13	917
Julho	6	v	1,5	1	23.500	27	8	952
Agosto	13	v	1,5	1	23.500	27	17	952
Setembro	48	v	1,5	1	23.500	26	64	917
Outubro	171	x	1,5	1	23.500	27	228	-
Novembro	220	x	1,5	1	23.500	26	294	-
Dezembro	259	x	1,5	1	23.500	27	346	-
Total	1577						2106	4688

A figura 3 abaixo demonstra a relação entre Oferta Q(t) e Demanda Dt (Irr).

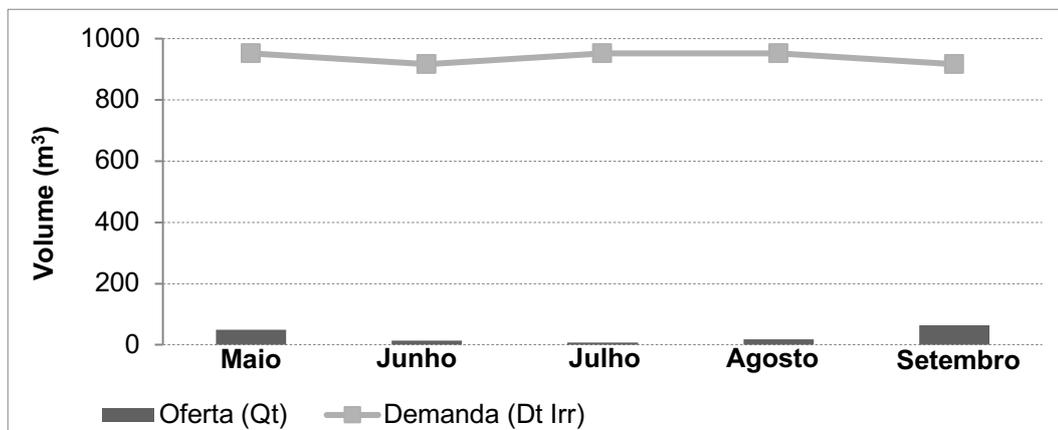


Figura 3. Oferta vs Demanda para Irrigação

A tabela 2 abaixo faz um resumo do consumo de água para lavagem de piso. A frequência de limpeza consta em um uso de 2 vezes por dia, por um total de 5 dias por semana. Com uma área construída da 14.427 m², a demanda de água é muito elevada, totalizando um volume de 11.643 m³.

Tabela 2. Indicadores de consumo mensal para lavagem de piso

Mês	PP	Lavagem de Piso	Indicador	Frequência*	Área	Dias de Uso por mês	Oferta (Qt)	Demanda (Dt Lav)
	mm		litros/m ² /dia	*por dia de uso	m ²	dias/uso	m ³	m ³
Janeiro	270	v	1,5	2	14.427	23	361	995
Fevereiro	213	v	1,5	2	14.427	20	284	866
Março	210	v	1,5	2	14.427	23	280	995
Abril	121	v	1,5	2	14.427	22	162	952
Mai	36	v	1,5	2	14.427	23	48	995
Junho	10	v	1,5	2	14.427	22	13	952
Julho	6	v	1,5	2	14.427	23	8	995
Agosto	13	v	1,5	2	14.427	23	17	995
Setembro	48	v	1,5	2	14.427	22	64	952
Outubro	171	v	1,5	2	14.427	23	228	995
Novembro	220	v	1,5	2	14.427	22	294	952
Dezembro	259	v	1,5	2	14.427	23	346	995
Total	1577						2106	11643

A demanda de consumo de água para lavagem de piso em relação com a oferta é representada através da figura 4.

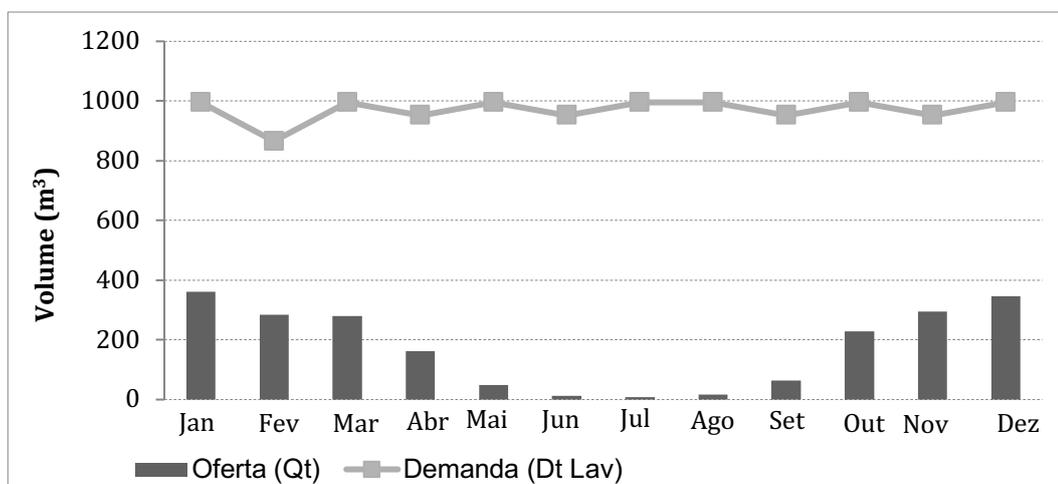


Figura 4. Oferta vs Demanda para Lavagem de piso

Para alcançar os objetivos do **Cenário 1** (Irrigação e Lavagem de piso) foi feita uma somatória das demandas mensais, que, no caso da irrigação, considera somente os meses da estação de seca (de maio a setembro).

Tabela 3. Volumes para dimensionamento do reservatório do sistema

Mês	Demanda Irr e Lav	Oferta (Qt)	D-Q
	m ³	m ³	m ³
Janeiro	995	361	634
Fevereiro	866	284	582
Março	995	280	715
Abril	952	162	790
Mai	1947	48	1899
Junho	1869	13	1856
Julho	1947	8	1939
Agosto	1947	17	1930
Setembro	1869	64	1805
Outubro	995	228	767
Novembro	952	294	658
Dezembro	995	346	649
Total	16331	2105	14226

Portanto, o tamanho do reservatório para água de chuva, obtido em base anual segundo o método Rippl (NBR 15527:2007) para atender a demanda de irrigação e lavagem de piso (Cenário 1), deveria ter uma capacidade de 14.226 m³ de água.

Passando para o **Cenário 2** de descarga sanitária, podemos observar que, na tabela 4, o consumo hídrico para fins não-potáveis em base anual exigido pela demanda (Dt Wc) consta de um volume de 1872 m³. E, como a oferta total de água de chuva (2106 m³) é superior da demanda, a implementação de um sistema de AAP no edifício considerado seria viável do ponto de vista técnico. O gráfico da figura 5 mostra essa relação de Demanda e Oferta.

Tabela 4. Indicadores de consumo mensal para Descarga Sanitária

Mês	PP	Descarga Sanitária (Wc)	Indicador	Frequência*	Usuários	Dias de Uso por mês	Oferta (Qt)	Demanda (Dt Wc)
	mm	fluxos	litros por fluxo	*por dia de uso	peessoa	dias/uso	m ³	m ³
Janeiro	270	v	6	4	290	23	361	160
Fevereiro	213	v	6	4	290	20	284	139
Março	210	v	6	4	290	23	280	160
Abril	121	v	6	4	290	22	162	153
Mai	36	v	6	4	290	23	48	160
Junho	10	v	6	4	290	22	13	153
Julho	6	v	6	4	290	23	8	160
Agosto	13	v	6	4	290	23	17	160
Setembro	48	v	6	4	290	22	64	153
Outubro	171	v	6	4	290	23	228	160

Novembro	220	v	6	4	290	22	294	153
Dezembro	259	v	6	4	290	23	346	160
Total	1577						2106	1872

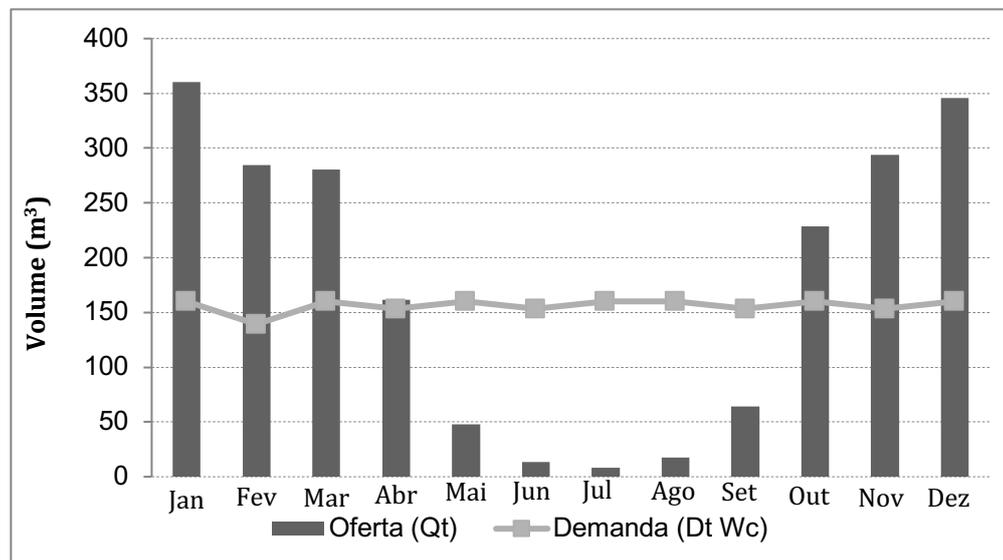


Figura 5. Oferta vs Demanda para Descarga Sanitária

O **Cenário 3** propõe as três demandas de irrigação, lavagem de piso e descarga sanitária para verificar a relação existente com a oferta de água pluvial. A tabela 5, das demandas e das ofertas cumulativas, evidencia uma inviabilidade para aplicação de um sistema de AAP enquanto a somatória das demandas é muito mais elevada da mesma oferta.

Tabela 5. Cenário 3, Demanda cumulativa vs Oferta cumulativa

Mês	Oferta (Qt)	Demanda Irr, Lav, Wc	Qcum	Dcum
	m ³	m ³	m ³	m ³
Janeiro	361	1156	361	1156
Fevereiro	284	1005	645	2160
Março	280	1156	925	3316
Abril	162	1105	1087	4421
Maio	48	2107	1135	6529
Junho	13	2022	1148	8550
Julho	8	2107	1156	10658
Agosto	17	2107	1173	12765
Setembro	64	2022	1237	14787
Outubro	228	1156	1465	15942
Novembro	294	1105	1759	17048
Dezembro	346	1156	2105	18203
Total	2105	18203	14196	115534

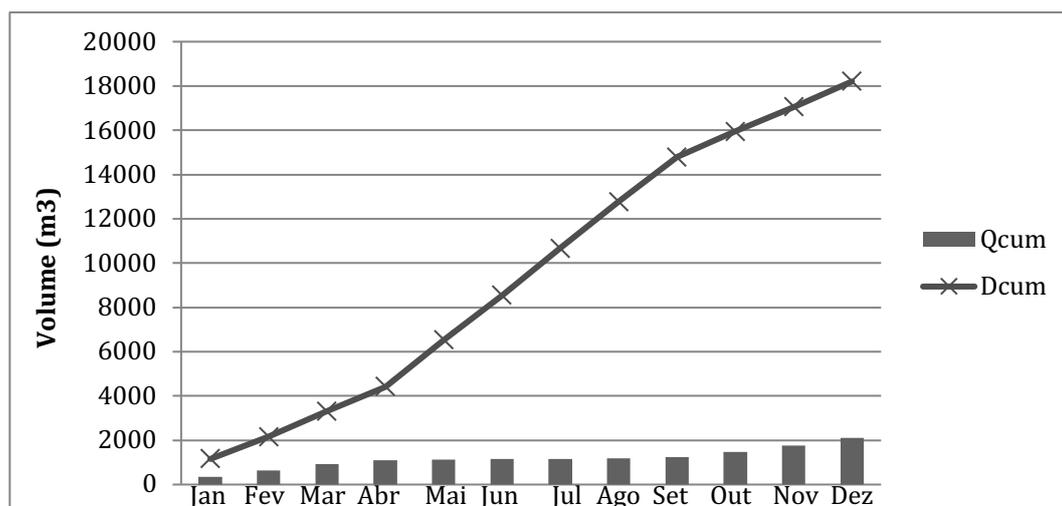


Figura 6. Oferta cumulativa vs Demanda cumulativa para Cenário 3 (Irr, Lav, Wc)

4. CONCLUSÕES

Esse presente trabalho, desenvolvido para três diferentes cenários voltados aos usos-finais do consumo de água não-potável, investiga sobre a relação entre a oferta de água pluvial e a demanda exigida pelos usuários da Procuradoria Geral da República, objeto de análise. O estudo, indicou a viabilidade técnica e a aplicabilidade de um sistema de AAP somente em um dos casos avaliados (Cenário 2). Nas diferentes simulações efetuadas, o aproveitamento de águas pluviais voltado ao consumo de água não potável em descarga sanitária (Cenário 2) resultou ser a melhor opção dos três cenários, enquanto o indicador de consumo em bacias sanitárias demonstrou um índice de consumo para o fluxo de descarga (6 litros por fluxo, com uma frequência de 4 vezes ao dia) que consegue ser suprido pelo volume de água de chuva da oferta.

Resultados sugerem que o sistema de AAP não seja aplicado para satisfazer a demanda de irrigação de rega e de lavagem de piso (Cenário 1) e a demanda representada pelo Cenário 3 (irrigação, lavagem de piso e descarga sanitária).

Essa questão vem sendo determinada pela superfície de cobertura que, com uma área de 2119,5 m², resulta insuficiente para um aproveitamento exaustivo da água de chuva para usos-finais não potáveis.

As limitações do presente estudo são principalmente devidas a uma entrevista restrita a uma amostra de quatro usuários. Certamente, um número mais elevado de utentes na hora da obtenção de dados primários através de entrevistas, ajudaria aumentar a precisão da análise efetuada neste artigo.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **Aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não-potáveis**. NBR 15527. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2013. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**, 2013. Brasília, DF, 2013. P. 37-38.
- CAESB. **Siágua 2008**: Sinopse do sistema de abastecimento de água no Distrito Federal. 19 ed. Brasília: CAESB, 2008. P. 143.
- CAESB. **Siágua 2011**: Sinopse do sistema de abastecimento de água no Distrito Federal. 19 ed. Brasília: CAESB, 2011. P. 152.
- FEWKES, A. **The technology, design and utility of rainwater catchment Systems: A Literature Review**. In: Water Demand Management Org. BUTLER, D.; MEMON, F. Londres, UK: IWA Publishing, 2006.
- FINK, D. R.; SANTOS, H. F. **A legislação de reúso de água**. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reúso de Água, 2003, Barueri, São Paulo: Manole, 2003. P. 261-290.
- FONSECA, R. P. da. **A Ponte de Oscar Niemeyer em Brasília: Construção, Forma e Função Estrutural**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2007.
- IBGE. **Estimativas de população**. Brasília: Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, 2012.
- KAMMERS, P. C.; GHISI, E. **Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis**, SC. Ambiente Construído, v.6, n.1, p. 75-90, 2006.
- LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o Entendimento do Reúso planejado da Água e algumas Considerações Sobre suas Possibilidades no Brasil**. São Paulo, 1987.
- LEGGETT, D.; BROWN, R.; BREWER, D. HOLLIDAY, E. **Rainwater and greywater use in buildings: best practice guidance**. London: CIRIA, 2001.
- OLIVEIRA, L. H. De; ILHA, M. S. de O.; GONÇALVES, O. M.; REIS, L. **Projeto Tecnologias para Construção Habitacional mais Sustentável - Levantamento do estado da arte: Água**. São Paulo: USP, 2007.
- PRADO, G. S.; MULLER, M. S. K. **Sistema de aproveitamento de água para**

- edifícios.** Revista *téchne*, 138. Ed. Novembro de 2007. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/128/artigo285704-1.aspx>>. Acesso em: 1 março de 2015.
- PROENÇA, L. C.; GHISI, E. **Water end-uses in Brazilian Office buildings.** Resources, Conservation and Recycling, v.54, n.8, p.489-500, 2010.
- SANT'ANA, D.; AMORIM, C. N. D. **Reuso de água em edificações: premissas e perspectivas para o contexto brasileiro.** Sistemas Prediais, São Paulo, v.2, n.1, setembro, p.32-37. 2007.
- SANT'ANA, D. **Aproveitamento de água pluvial no Complexo Central de Tecnologia do Banco do Brasil.** Terra. Qualidade de Vida, Mobilidade e Segurança nas Cidades, João Pessoa, Paraíba, Editora Universitária da UFPB, p. 701-714, 2013.
- SANT'ANA, D.; BOEGER, L.; VILELA, L. **Aproveitamento de águas pluviais e o reuso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília - parte 1: reduções no consumo de água.** Paranoá, Brasília, n.10, p. 77-84, 2013.
- SCHILLER, E.; LATHAM, B. **Computerized methods in optimizing rainwater catchment systems.** In: International Conference on Rainwater Cistern System, 1st, 1982, Honolulu, United States. Honolulu: IRCSA, 1982.
- TOMAZ, Plínio. **Previsão de Consumo de Água. Interface das Instalações Prediais de Água e Esgoto com os Serviços Públicos.** Ed. São Paulo: Navegar Editora, 2000.

X

**ANÁLISE DE UMA COBERTURA PARAMÉTRICA DE BAMBU
COMPOSTA POR PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS**

**ANALYSIS OF A HYPERBOLIC PARABOLOID PARAMETRIC BAMBOO
ROOF**

Vitor Ramos de Quadros

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Brasília - DF

vitorquadros.arq@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/2522203679195461>

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Brasília - DF

joaocpantoja@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>

Resumo: Apesar de ser um material utilizado tradicionalmente de forma milenar na construção civil, o bambu até recentemente era considerado um material de baixa qualidade. Porém, pesquisas e aplicações têm demonstrado diversas vantagens do uso de bambu, principalmente no quesito sustentabilidade. Há grande possibilidade de aplicações tecnológicas neste material tradicional e para este trabalho foram utilizados design paramétrico e softwares de estrutura. Para tanto, uma cobertura de bambu composta por paraboloides hiperbólicos foi analisada e suas possibilidades exploradas.

Palavras-chave: *Guadua angustifolia*, *Bambusa tuldoides*, bambu, Grasshopper, Karamba3D.

Abstract: Although bamboo is a material traditionally used in buildings for thousands of years, it was until recently considered a low-quality material. However, researches and applications have shown that bamboo is a material with several advantages, especially in terms of sustainability. There is great possibility of technological applications in this traditional material, and for this work, it was used parametric design and structural analysis softwares. To do so, a bamboo roof made of hyperbolic paraboloids was analyzed and its possibilities were explored.

Keywords: *Guadua angustifolia*, *Bambusa tuldoides*, bamboo, Grasshopper, Karamba3D

1. INTRODUÇÃO

Até recentemente, o bambu era estigmatizado como “a madeira dos pobres” (Borah, 2015), porém, o bambu é um material de baixo impacto ambiental, leve, renovável e economicamente viável (Minke, 2016). O bambu é uma matéria-prima de alta resistência mecânica, sendo em vários aspectos comparável ao

aço, como na resistência à tração, porém é um material muito mais leve (Carbonari et al., 2017). Se manejada de forma correta, uma mesma touceira de bambu pode fornecer material de forma periódica, podendo chegar a 50 anos, não sendo necessário o replantio, o que garante alta produção de material com baixos danos ambientais, além de baixo custo para obtenção do material cru (Greco & Crombewrg, 2011).

O bambu tem alta taxa de crescimento e, em média, bambus lenhosos podem ser usados para estruturas entre 4 e 6 anos após o plantio e, após a colheita, a touceira fornece material anualmente. Além disso, pode ser cultivado em diversos tipos de solo, inclusive solos pobres, evitando erosões e recuperando áreas degradadas (Arce-Villalobos, 1993). Ghavami (1992) aponta a necessidade e demanda pelo desenvolvimento de tecnologias em materiais de construção civil sustentáveis e renováveis.

Apesar de ser um material tradicional, processos tecnológicos e construtivos tornaram o bambu um material muito atrativo. A flexibilidade das varas e a possibilidade de moldar suas formas, tornam o bambu um material aplicável inclusive em projetos de alta complexidade formal (Figura 1), como os que usam parametrização ou formas orgânicas (Nurdiah, 2016).



Figura 1: Exemplo de construção de alta complexidade construída em bambu. Fonte: <https://www.archdaily.com/905690/bamboo-pavilion-zuo-studio>

2. METODOLOGIA

2.1 Parametrização

O design paramétrico é constituído por quatro elementos: as condições iniciais e parâmetros (conhecido como input), um mecanismo generativo (o

algoritmo), a seleção das variáveis (conhecido como output) e por último a seleção das melhores variáveis (Dino, 2012). O processo paramétrico de design, além de possibilitar complexidade formal, também facilita o estudo e as alterações de projeto de forma instantânea, o que contribui na identificação de problemas e potencialidades na estrutura. Um software de parametrização que é amplamente utilizado é o Grasshopper, plugin da plataforma Rhino 3D. Suas principais vantagens são a interface simples (Figura 2) e a baixa complexidade na criação de algoritmos, não requerendo conhecimento de linguagens de programação (Mirtschin, 2011).

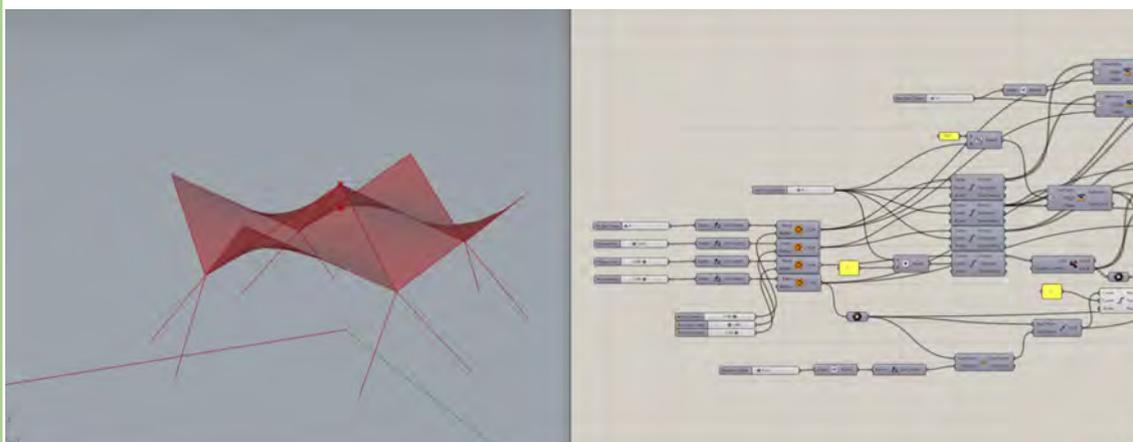


Figura 2: Interface de código e exemplo de modelagem do Grasshopper. Fonte: Autor.

Outro aspecto positivo do Grasshopper é a sua integração com outros plugins que expandem sua capacidade. Uma dessas possibilidades é a análise do desempenho de estruturas a partir do plugin Karamba 3D, que utiliza o Método dos Elementos Finitos (FEM). Neste software, a integração com o Grasshopper é direta, por meio de componentes como os da Figura 2. Os componentes da própria modelagem são conectados ao do Karamba 3D, e linhas tornam-se vigas, pontos tornam-se apoios e malhas tornam-se cascas (Figura 3). Posteriormente, são atribuídas as cargas de projeto, as seções transversais, os materiais e as condições de contorno. Por fim, é feita a junção de todos os parâmetros e geradas as análises da estrutura. A partir desses resultados, o projetista é capaz de interpretá-los e otimizar a estrutura, de forma que qualquer parâmetro pode ser alterado e novos resultados reavaliados (Preisinger & Heimrath, 2014).

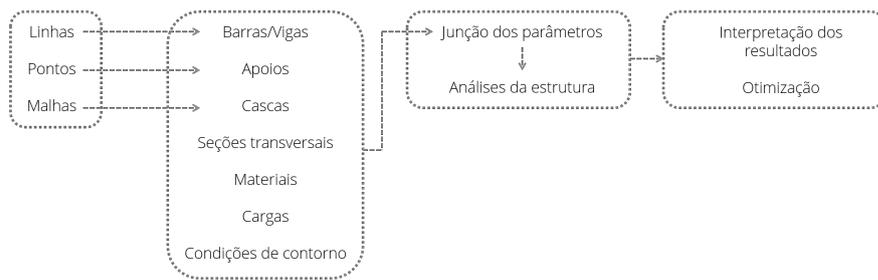


Figura 3. Processo de análise de estruturas a partir do Karamba 3D. Fonte: Autor.

2.2 Paraboloides Hiperbólicos

Um tipo de estrutura altamente vantajosa e que é compatível com a parametrização são os paraboloides hiperbólicos. Minke (2016) os define como formas com curvaturas duplas em diferentes direções. O autor ainda aponta que há possibilidade de a área curvada da estrutura ser composta por linhas retas ou parábolas (Figura 4), e que apesar de maior dificuldade de execução na utilização de parábolas, seu desempenho estrutural é superior. Um grande nome da arquitetura quando se cita este tipo de estrutura é o arquiteto Felix Candela. Um dos motivos para Candela utilizar este tipo de forma é o fato de ser possível executar estruturas em casca em que os efeitos de flexão são minimizados (Draper et. al, 2008).

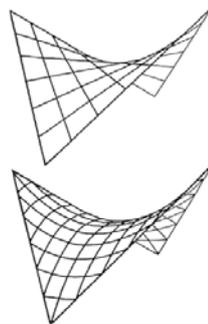


Figura 4: Paraboloides hiperbólicos com elementos retos ou curvos. Fonte: Minke, 2016.

3. ESTUDO DE CASO

Para determinar a potencialidade da associação entre parametrização, o Método dos Elementos Finitos e as estruturas de bambu, foi analisado um estudo de caso composto por uma cobertura de quatro paraboloides hiperbólicos. Para a modelagem, foi utilizado o software paramétrico Grasshopper, vinculado à plataforma do Rhinoceros 3D. Após a modelagem, foi utilizado o software de

análise estrutural Karamba 3D que utiliza a formulação baseada no do Método dos Elementos Finitos (FEM). A partir dos dados gerados, foi possível realizar a análise do comportamento da estrutura e propor alterações na estrutura a partir da mudança de parâmetros.

4. RESULTADOS

A fim de realizar uma verificação estrutural de um parabolóide hiperbólico em estrutura de bambu, foi modelada uma cobertura existente. Trata-se de uma cobertura dividida em 4 paraboloides em vão livre (Figura 5), projetada por Gernot Minke e construída com a ajuda de estudantes durante uma oficina ministrada por Minke em Candelária, Colômbia (Minke, 2016).



Figura 5: Estrutura em bambu utilizada para o presente estudo de caso. Fonte: Minke, 2016.

Foram determinadas dimensões fictícias como inputs para fins de estudo. O modelo foi gerado através de pontos, linhas, formas e planos com um algoritmo no Grasshopper (Figura 6). A partir de 3 círculos divididos em pontos e um ponto central para a cumeeira, a estrutura foi replicada e assim criaram-se os paraboloides hiperbólicos (Figura 7). Foram adotados os seguintes valores para as dimensões dos círculos que compõem a geometria, da base para o topo, em diâmetros e alturas (eixo z):

1. $D = 5\text{m}$, $z = 0\text{m}$
2. $D = 3.6\text{m}$, $z = 1\text{m}$
3. $D = 5\text{m}$, $z = 2\text{m}$

4. D = Nó (cumeeira): $z = 2\text{m}$

Assim como na estrutura de Minke, a malha aplicada aos parabolóides do modelo foi com padrão 8 x 8 de ripas que acompanham a curvatura da estrutura (Figura 7).

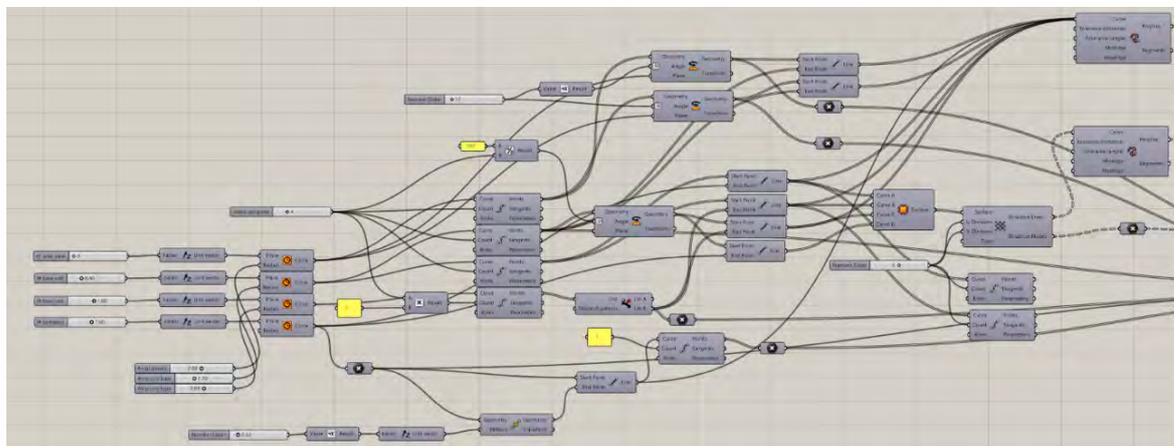


Figura 6: Código desenvolvido para a modelagem da geometria. Fonte: Autor.



Figura 7: Processo de modelagem da cobertura. Fonte: Autor.

Após a finalização da geometria básica, o modelo foi analisado utilizando-se o plugin Karamba 3D, vinculado ao Grasshopper. Utilizou-se o Método dos Elementos Finitos para a análise da estrutura, conectando diretamente a geometria da estrutura em parâmetros (Figura 8).

Apesar de já existirem alguns materiais com características pré-carregadas no software Karamba 3D, não há nenhum tipo de estrutura de bambu disponível. Portanto, foi necessário determinar um material customizado para realizar esta análise. Para este trabalho foi adotado o bambu colombiano *Guadua angustifolia* como material, devido à maior disponibilidade de pesquisas de caracterização desta espécie em relação a outras.

Foram utilizados os seguintes dados da Universidade Técnica de Aachen (Rottke, 2002): Módulo de elasticidade = 1800 kN/cm^2 , tensão de cisalhamento = 2 kN/cm^2 e tensão de escoamento = $2,26 \text{ kN/cm}^2$. Para a massa específica, foi adotado $7,43 \text{ kN/m}^3$ (Morita, 2011).

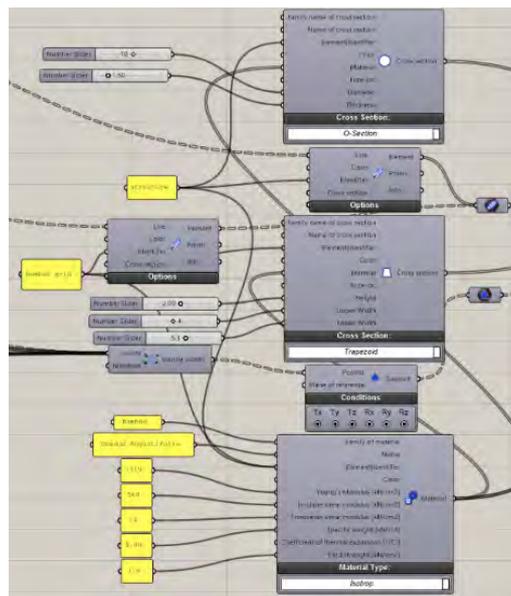


Figura 8: Utilização do Karamba 3D para determinação dos parâmetros da estrutura. Fonte: Autor

Como seções transversais, foram adotados valores médios para colmos inteiros de *Guadua angustifolia* (Ghavami, 1992), com diâmetro externo de 12 cm e espessura de 1,5 cm. Para as ripas, foi adotada seção trapezoidal de 1,5 cm de altura, base menor de 3,53 cm e base maior de 4,6 cm; considerando um colmo de bambu rachado em oito partes iguais. Para cargas, foi considerada a gravidade, o peso próprio do bambu e um carregamento uniformemente distribuído de 2kN/m. Cargas de vento foram desconsideradas para este trabalho. Foi feita a junção de todos os parâmetros. A partir disso, foi possível visualizar graficamente o comportamento da estrutura, inferir as informações do modelo, além de determinar o deslocamento máximo da estrutura (Figura 9).

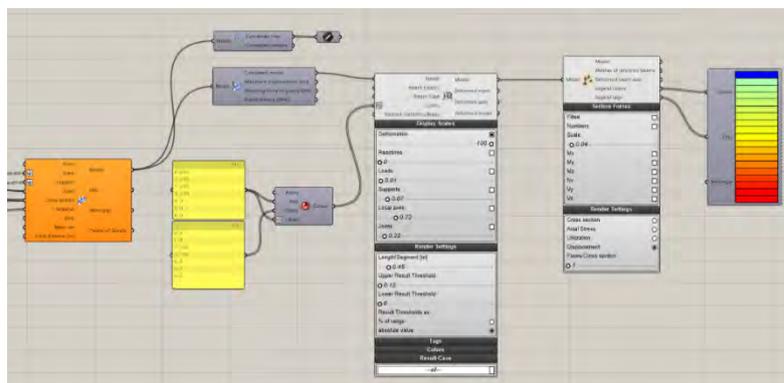


Figura 9: Junção dos parâmetros e análise do comportamento da estrutura no Karamba 3D. Fonte: Autor

Foram encontrados 594 apoios e 1045 elementos no modelo. O valor do deslocamento máximo da estrutura encontrado foi de 0,07 cm, demonstrando

que há estabilidade na estrutura. Os deslocamentos foram demonstrados por meio de cores, e seu espectro de intensidades está representado na Figura 10.

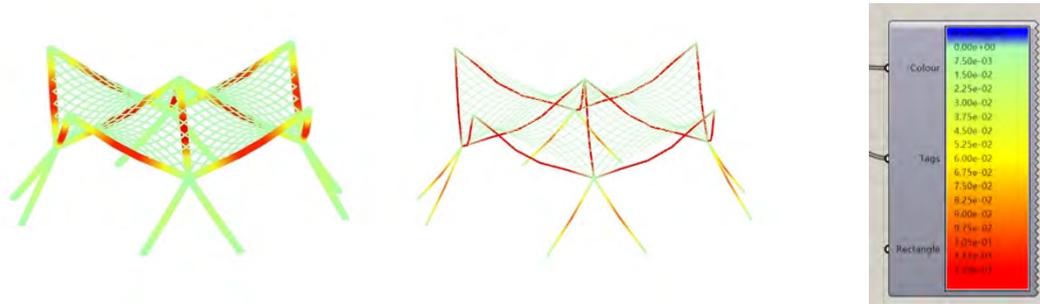


Figura 10: Comportamento da estrutura representado por deslocamentos e espectros de cores. Fonte: Autor

Este processo é útil para identificar os pontos mais vulneráveis e o comportamento da estrutura, a fim de otimizá-la, atingir as dimensões de projeto pretendidas e utilizar a menor quantidade de material possível para determinado projeto, dessa forma diminuindo seu custo. Neste caso, é possível perceber que os apoios encostados ao solo são o ponto mais estável, e apesar de não haver grandes deslocamentos, as barras que apoiam a malha dos parabolóides sofrem maiores deslocamentos. Diminuindo a quantidade de apoios desta cobertura, e mantendo as mesmas dimensões, seções e material, é possível identificar a estabilidade da estrutura em cada caso (Figura 11). A cobertura com 2 apoios apresenta deslocamento máximo de 0,44 cm e com 3 apoios de 0,15 cm, como mostram as Figuras 11 e 12. As intensidades dos deslocamentos estão representadas pelo mesmo espectro de cores da Figura 10. A medida em que se adicionam apoios, o deslocamento máximo vai diminuindo, até se estabilizar. A Figura 12 mostra essa variação, e foi possível identificar que o menor deslocamento máximo é de 0,07 cm, e que a estabilidade da estrutura é atingida com 4 apoios. Isso significa que qualquer apoio a mais adicionado à estrutura de 4 apoios não terá efeitos em seu deslocamento máximo.

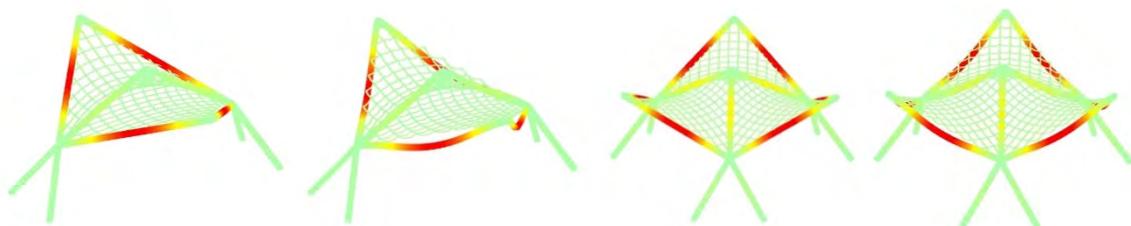


Figura 11: comportamento da estrutura utilizando 2 e 3 apoios. Fonte: Autor.

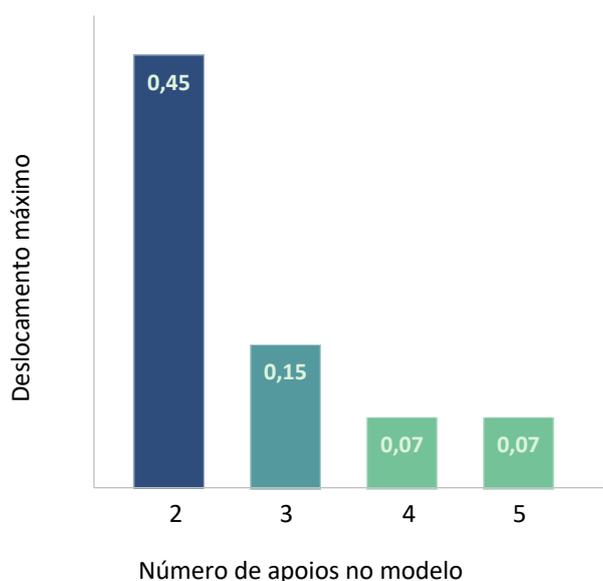


Figura 12: Relação número de apoios do modelo por deslocamento máximo da estrutura, utilizando *Guadua Angustifolia*

Utilizando-se a mesma composição de cobertura, foi verificada a possibilidade de utilizar outra espécie de bambu na estrutura. Para tanto, foi escolhida a espécie *Bambusa tuldoides* para essa análise. Foram utilizados dados de Silva (2019): Módulo de elasticidade = $3411,3 \text{ kN/m}^2$, tensão de cisalhamento = $0,12 \text{ kN/cm}^2$, tensão de escoamento = $15,3 \text{ kN/cm}^2$, diâmetro externo = $4,5 \text{ cm}$ e espessura = $0,6 \text{ cm}$. Se adotada estrutura idêntica à de *Guadua angustifolia*, o deslocamento máximo da estrutura é de 1 cm , com 4 apoios. A mesma análise feita com a estrutura em *Guadua Angustifolia* foi feita para a de *Bambusa Tuldoides*, de forma que se verifique em que composição de projeto o deslocamento máximo se estabiliza. Os valores encontrados estão na Figura 14, e é possível observar que o menor deslocamento máximo e a estabilidade da estrutura é no modelo com 6 apoios (Figura 13), onde o deslocamento máximo é de $0,6 \text{ cm}$. Portanto, uma possível alteração de projeto seria de uma estrutura de 4 apoios de *Guadua Angustifolia* para uma de 6 apoios em *Bambusa Tuldoides*, considerando que há uma diferença de $0,53 \text{ cm}$ para o deslocamento máximo entre uma estrutura e outra.

Com esta mudança, o número de elementos da estrutura aumenta de 1045 para 1828 e o número de apoios de 594 para 1039. Estes dados podem ser utilizados para comparação de custos entre as duas espécies em uma cobertura de mesmo diâmetro e altura. A partir disso, cabe ao projetista a decisão de qual

tipo de estrutura utilizar, levando em consideração questões econômicas, práticas e estéticas para determinado projeto.

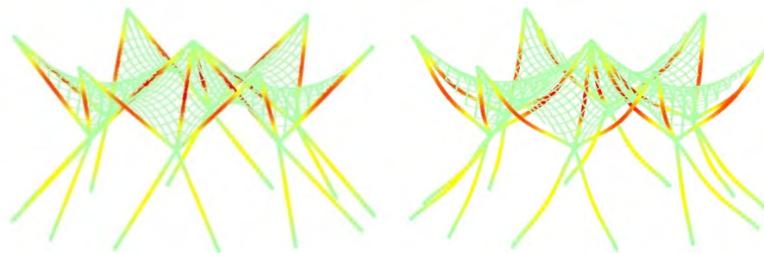


Figura 13: Estrutura em Bambusa Tuldoides, com 6 apoios, apresenta menor deslocamento máximo com o mínimo de apoios. Fonte: Autor

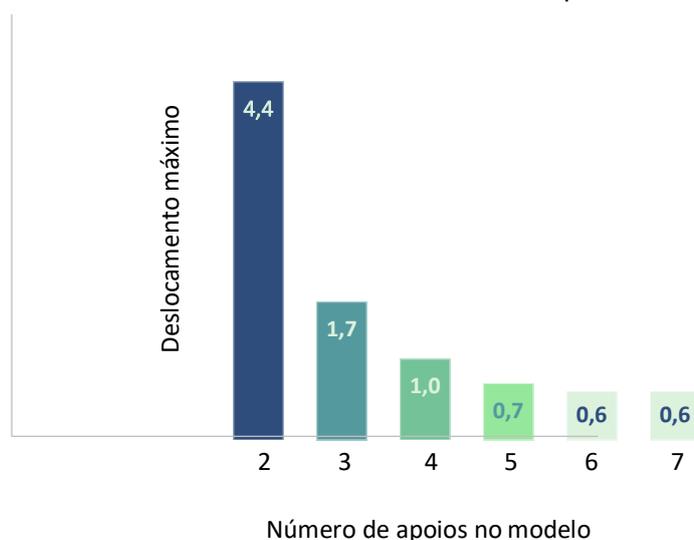


Figura 14: Relação número de apoios do modelo por deslocamento máximo da estrutura, utilizando Bambusa Tuldoides. Fonte: Autor

5. CONCLUSÕES E DISCUSSÃO

Foi possível observar as potencialidades do bambu associado a softwares paramétricos e de análise estrutural. Apesar da utilização somente dos processos apontados aqui não serem suficientes para determinar a viabilidade e estabilidade de uma estrutura, foi possível observar que o uso dessas ferramentas indica as potencialidades e vulnerabilidades da estrutura, e possibilitam ao projetista otimizar ou mesmo adaptar a estrutura a partir dos dados gerados. Além disso, esses processos podem ser realizados por profissionais com conhecimentos mais básicos em cálculo e são de rápido aprendizado. O uso dessas ferramentas não dispensa a necessidade de um calculista e uma análise mais aprofundada, porém são de grande auxílio para a concepção de projeto e para a visualização do comportamento de determinada

estrutura. A utilização de uma estrutura de bambu é um desafio a mais, tendo em vista que o material ainda carece de informações e ensaios de caracterização, além da disponibilidade destes dados não contemplarem todas as espécies de bambu utilizadas em estruturas. Apesar das dificuldades, o uso de materiais sustentáveis em estruturas, como é o caso do bambu, são de extrema importância. É importante a desmitificação da crença de que são materiais precários e que não dialogam com tecnologias contemporâneas e projetos de maior complexidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arce-Villalobos, O. A. (1993). **Fundamentals of the design of bamboo structures**. Tese de Doutorado. Technische Universiteit Eindhoven.

Borah, S. U. K. (2015). **Bamboo for economic prosperity and sustainable development with special reference to northeast India**. International Research Journal of Management Sociology & Humanities, 6.

Carbonari, G., Junior, N. S., Pedrosa, N. H., Abe, C. H., Scholtz, M. F. & Acosta, C. C. V. (2017). **Bambu—O aço vegetal**. Mix Sustentável, 3(1):17-25.

Dino, I. (2012). **Creative design exploration by parametric generative systems in architecture**. METU Journal of Faculty of Architecture, 29(1):207-224.

Ghavami, K. (1992). **Bambu: um material alternativo na engenharia**. Revista do Instituto de Engenharia, (492): 23-27.

Draper, P., Garlock, M. E., & Billington, D. P. (2008). **Finite-element analysis of Félix Candela's chapel of Lomas de Cuernavaca**. Journal of Architectural Engineering, 14(2), 47-52.

Greco, T. M. & Crombewrg, M. (2011). **Bambu: cultivo e manejo**. Florianópolis: Insultar, 184p.

Minke, G. (2016). **Building with Bamboo. Design and Technology of a Sustainable Architecture** Second and revised edition. Berlin, Basel: Birkhäuser. 160 p.

Mirtschin, J. (2011). **Generative Models Utilized for Superior Design Development**. Proceedings of IASS 2011.

Morita, B. S. (2011). **Análise da estabilidade dimensional e resistência**

mecânica em bambu *Guadua angustifolia* pós-processos de tratamentos químicos e térmico. 2011 84 p.

Nurdiah, E. A. (2016). **The potential of bamboo as building material in organic shaped buildings.** Procedia-Social and Behavioral Sciences, 216, 30-38.

Preisinger, C. & Heimrath, M. (2014). **Karamba - A Toolkit for Parametric Structural Design.** Structural Engineering International, 24(2):217–221.

Rottke, E. (2002). **Mechanical properties of bamboo.** RWTH Aachen University. Faculty of Architecture. Aachen, North Rhine-Westphalia, Germany. Section, 3, 11.

Silva, F. R. D. (2019). **Sistema de Cobertura com Feixe de Bambusa tuldoides.** Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 129 p

XI

ANÁLISE DA VENTILAÇÃO NATURAL E DA QUALIDADE DO AR INTERNO: HOSPITAIS SARAH BRASÍLIA E SARAH LAGO NORTE

ANALYSIS OF NATURAL VENTILATION AND INDOOR AIR QUALITY: HOSPITALS SARAH BRASÍLIA AND SARAH LAGO NORTE

Thaís Aurora Vilela Sancho

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Brasília-DF, Brasil

Thaisavsancho@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/9444958227869647>

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura
Brasília-DF, Brasil

joaocpantoja@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>

Joára Cronenberg Ribeiro Silva

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Brasília-DF, Brasil

joaracronemberger@unb.br

<http://lattes.cnpq.br/8055747606186542>

Resumo: Desde sua concepção, os projetos de arquitetura hospitalar requerem atenção dos arquitetos em várias dimensões. O contexto atual da pandemia da COVID-19 evidenciou a importância da temática da qualidade dos ambientes hospitalares, sobretudo da qualidade do ar interno. A adoção da ventilação natural em ambientes hospitalares em que não é obrigatório o uso do ar condicionado é meio primordial para proporcionar uma boa qualidade do ar interno, diminuir a demanda energética e garantir o conforto térmico a seus usuários. Este artigo tem por objetivo analisar a ventilação natural e a qualidade do ar interno (QAI) nos hospitais Sarah Brasília e Sarah Lago Norte. Inicialmente, após breve descrição da ventilação natural e da qualidade do ar de Brasília, cidade onde se localizam os hospitais estudados, são fundamentados teoricamente os conceitos de qualidade do ar interno na arquitetura hospitalar e de ventilação natural. Em seguida, foi proposto um instrumento de avaliação para a QAI e a ventilação natural, que foi aplicado aos hospitais objetos de estudo. Finalmente, foi comparada a adoção da ventilação natural entre os edifícios estudados. A partir dos resultados da análise comparativa, constata-se que mesmo com as adversidades encontradas no entorno do Sarah Brasília e da reduzida área do terreno, percebe-se que a taxa de renovação do ar é elevada devido às intervenções arquitetônicas aplicadas no projeto, por Lelé, para a promoção da ventilação natural. É possível concluir, ainda, que essas intervenções adotadas em ambos os hospitais foram eficientes para a elevação da QAI e para possibilitar aos seus pacientes uma recuperação mais rápida, além de possibilitar a seus profissionais um ambiente de trabalho mais agradável.

Palavras-chave: Ventilação natural, Qualidade do ar interno, Arquitetura hospitalar.

Abstract: Since its inception, hospital architecture projects have required the attention of architects in various dimensions. The current context of the COVID-19 pandemic highlighted the importance of the theme of the quality of hospital environments, especially of the indoor air quality. The adoption of natural ventilation in hospital environments where the use of air conditioning is not required is a primary means of providing good indoor air quality, reducing energy demand and ensuring thermal comfort for its users. This paper aims to analyze natural ventilation and indoor air quality (QAI) at Sarah Brasília and Sarah Lago Norte hospitals. Initially, after a brief description of natural ventilation and air quality in Brasília, the city where the studied hospitals are located, we present the concepts of indoor air quality on hospital architecture and natural ventilation. Then, we proposed an assessment instrument for QAI and natural ventilation, which we applied to the hospitals studied. Finally, the adoption of natural ventilation between the buildings studied was compared. From the results of the comparative analysis, it appears that even with the adversities found around Sarah Brasília and the reduced area of the land, it is noticed that the rate of air renewal is high due to the architectural interventions applied in the project to promote natural ventilation. It is also possible to conclude that these interventions adopted in both hospitals were efficient in raising the QAI and in enabling their patients to recover faster, in addition to providing their professionals with a more pleasant work environment.

Keywords: Natural ventilation, Indoor air quality, Hospital architecture.

1. INTRODUÇÃO

Desde sua concepção, os projetos de arquitetura hospitalar requerem atenção dos arquitetos em várias dimensões. Para Sampaio (2005), ambientes hospitalares necessitam de atenção especial relacionada à sustentabilidade, ao conforto e à qualidade de seus ambientes, já que possui uma relação direta com a saúde das pessoas. O uso de material inadequado no projeto pode ocasionar problemas, como a temperatura interna do ar indesejada, que podem interferir negativamente na saúde, no bem-estar e na satisfação dos pacientes (CHRISTOPOULOS, 2017).

O contexto atual da pandemia da COVID-19, ocasionada pelo novo coronavírus (Sars-CoV-2), evidenciou a importância da temática da qualidade dos ambientes hospitalares, sobretudo da qualidade do ar interno, para evitar a propagação do vírus e proporcionar o tratamento dessa morbidade de forma rápida, segura e confortável aos usuários desses edifícios, além de proporcionar a redução da demanda energética. A adoção de ventilação natural, em ambientes hospitalares que não são obrigatórias o uso do ar condicionado, é

meio primordial para proporcionar uma boa qualidade do ar interno.

A ventilação natural pode ser definida como o deslocamento de ar através do edifício, produzido por meio da diferença de pressão ou da diferença de temperatura entre as áreas externas e internas (FERNANDES, 2009; ROMERO, 2016; SALES, 2016).

A ventilação natural é um processo promovido pelas diferenças de pressão de um lado e outro das janelas, portas, chaminés e frestas, quer por diferenças de temperaturas interior-exterior, quer por ação direta do vento sobre a edificação (ROMERO, 2016, p.112).

Conforme a ABNT NBR nº 15.220/2003, a ventilação natural é uma das estratégias bioclimáticas mais empregadas em climas predominantemente quentes, devido à promoção da salubridade e do conforto térmico nos ambientes internos. Em edifícios hospitalares, a ventilação natural ajuda a controlar a infecção hospitalar por meio da renovação do ar nos ambientes onde não há obrigatoriedade do uso de sistemas de ar condicionado. Ela proporciona, ainda, o conforto térmico aos usuários e permite a redução da demanda energética (ASHRAE, 1999).

A qualidade do ar está relacionada à taxa de renovação do ar no ambiente, que é determinada pelo número de renovações do volume de ar no interior de uma sala, em um determinado período de tempo, promovendo a redução da quantidade de partículas concentradas no ar (AGUIAR, 2017; ATKINSON et al., 2009; SALES, 2016). A ASHRAE (1999) apoia a adoção da ventilação natural em hospitais, desde que sejam estabelecidas taxas mínimas de renovação de ar e que não haja ar recirculado para os demais ambientes dessas instituições.

No Brasil, poucos arquitetos trabalham com ventilação natural em ambientes hospitalares. Um dos arquitetos de destaque pela utilização desse tipo de estratégia bioclimática em suas obras é João Filgueiras Lima, conhecido como Lelé. Os hospitais da rede Sarah Kubitschek são produções arquitetônicas de grande evidencia, desse arquiteto, graças ao emprego de soluções de conforto que foram estabelecidas por meio de estratégias bioclimáticas, principalmente ventilação natural, para mitigar os efeitos do clima, tornando-os ferramentas essenciais para o conforto térmico. Lukiantchuki (2010), na sua dissertação de mestrado, estudou a evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação

natural nos hospitais Sarah de Salvador e Rio de Janeiro e identificou uma continuidade e aprimoramento entre os projetos das edificações hospitalares ao longo dos 30 anos da rede Sarah. Nesse estudo, constatou-se a evolução na estrutura de cobertura e no sistema de ventilação natural entre os edifícios de Salvador e do Rio de Janeiro, destacando a iniciativa do arquiteto João Filgueiras Lima (conhecido como Lelé) em buscar e incorporar soluções bioclimáticas em seus projetos, que se preocupam com o conforto dos usuários.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar a ventilação natural e qualidade do ar interno (QAI) nos hospitais Sarah Brasília e Sarah Lago Norte.

Os objetivos específicos são:

- Propor um instrumento de avaliação para a QAI e a ventilação natural;
- Debater a importância da ventilação natural e a QAI nos ambientes hospitalares;
- Comparar a ventilação natural e a QAI analisadas nos dois hospitais, objetos de estudo deste artigo.

Esse trabalho justifica-se devido às especificidades da edificação hospitalar relacionadas com as necessidades particulares da qualidade do ar interno e da qualidade dos ambientes que fazem da arquitetura hospitalar (tipologia arquitetônica complexa) um ambiente atrativo para estudo da ventilação natural e da QAI. Pequenas melhorias arquitetônicas em edifícios hospitalares podem representar ganhos substanciais na QAI e no conforto dos ambientes, impactar indicadores de morbidade e mortalidade hospitalar e reduzir significativamente custos operacionais com a climatização.

3. METODOLOGIA

A análise da ventilação natural e da qualidade do ar interno nos hospitais Sarah Brasília e Sarah Lago Norte requer o cumprimento de algumas etapas metodológicas.

Em um primeiro momento, serão descritos a ventilação e a qualidade do ar de Brasília, cidade escolhida como base para o estudo dos hospitais da rede Sarah Kubitschek. Com vistas a fundamentar teoricamente o trabalho, será, ainda, desenvolvido um estudo conceitual sobre ventilação natural e qualidade

do ar interno na arquitetura hospitalar. Em seguida, será proposto um instrumento de avaliação da QAI e da ventilação natural em ambientes hospitalares.

Cumprida essas etapas, serão efetuados o levantamento de dados e a descrição de como foram adotadas a ventilação natural nos hospitais Sarah Brasília e Sarah Lago Norte por meio de documentos encontrados em artigos, livros, teses e dissertações relacionadas a essas duas unidades hospitalares. Será, ainda, aplicado o instrumento de avaliação proposto nos edifícios escolhidos. Finalmente, será efetuada a comparação entre os dois hospitais estudados dos instrumentos analisados.

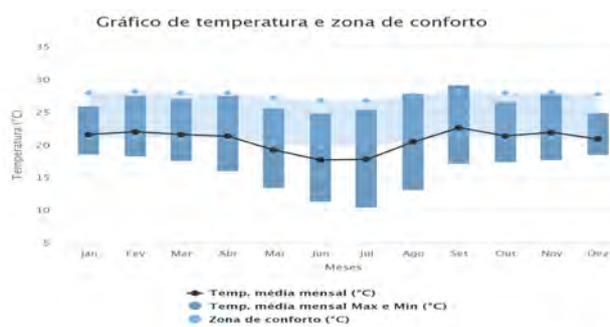
4. VENTILAÇÃO NATURAL E QUALIDADE DO AR DE BRASÍLIA

O estudo do clima é a primeira etapa para a elaboração de estratégias bioclimáticas empregadas a um projeto arquitetônico. O domínio do conhecimento do clima de Brasília, adquirido por Lelé, foi fundamental para o emprego das estratégias bioclimáticas e o desenvolvimento do projeto do Hospital Sarah dessa cidade. Assim, para fundamentar esse estudo é importante descrever brevemente esse clima.

O clima de Brasília é classificado como Tropical de Altitude (ROMERO, 2000). De acordo com Aguiar (2017), a Capital Federal tem seu clima caracterizado por dois diferentes períodos: o quente-úmido de verão chuvoso – que compreende os meses de outubro a abril; e o quente-seco de inverno seco, que abarcam os meses de maio a setembro.

O gráfico, demonstrado na figura 1, apresenta as temperaturas médias, máximas e mínimas em cada mês do ano; no gráfico percebe-se ainda, que a maior parte do ano as temperaturas de Brasília estão dentro da zona de conforto.

Figura 1: Gráfico de temperatura e zona de conforto em Brasília-DF.

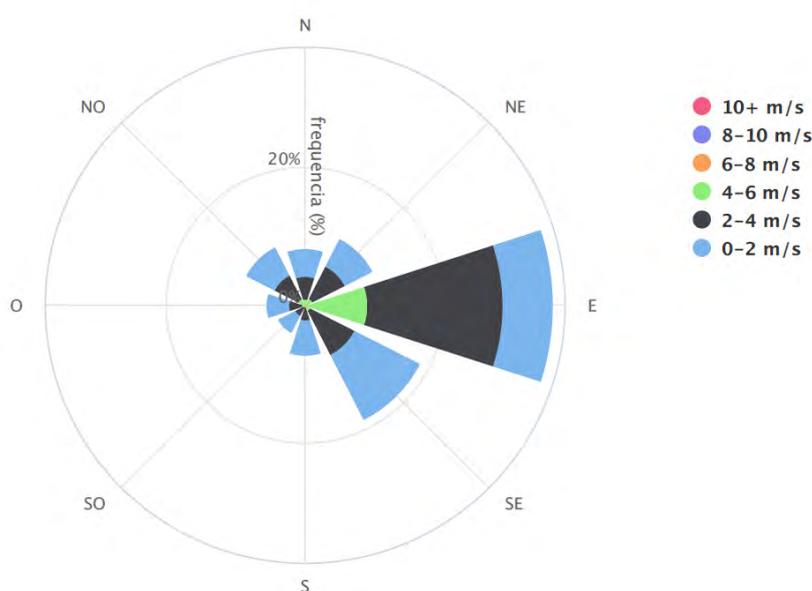


Fonte: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos>.

Brasília, nos meses de agosto e setembro, apresenta elevada amplitude térmica com as temperaturas entre 13°C a 28°C e umidade inferior a 60%. Nos meses quentes e úmidos, novembro a março, a umidade fica acima de 70% e o índice de precipitação total média é em torno de 1.500mm (ROMERO, 2011).

Segundo Lucas (2017), em Brasília, os ventos apresentam, no período quente-seco, a orientação na direção leste e sudeste; no período quente-úmido, a orientação noroeste. De acordo com Zanoni (2015), os ventos na Capital Federal possuem uma frequência de 34,6% na direção Leste e uma velocidade média de 3,57 m/s. No gráfico 1, gerado pela plataforma nacional que agrupa soluções para um projeto de edifício eficiente – PROJETEEE, observa-se que a frequência é predominante e superior a 20% na direção leste e que a velocidade, nessa direção, apresenta-se entre 0-6 m/s, com o predomínio de 2-4 m/s.

Gráfico 1: Rosa dos Ventos de Brasília – DF.



Fonte: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos>.

A boa qualidade do ar externo de uma cidade é primordial para a utilização da ventilação natural na arquitetura hospitalar. O ar permeável e proveniente do lado externo desse tipo de ambiente não pode conter poluentes, odores ou ser prejudicial aos pacientes.

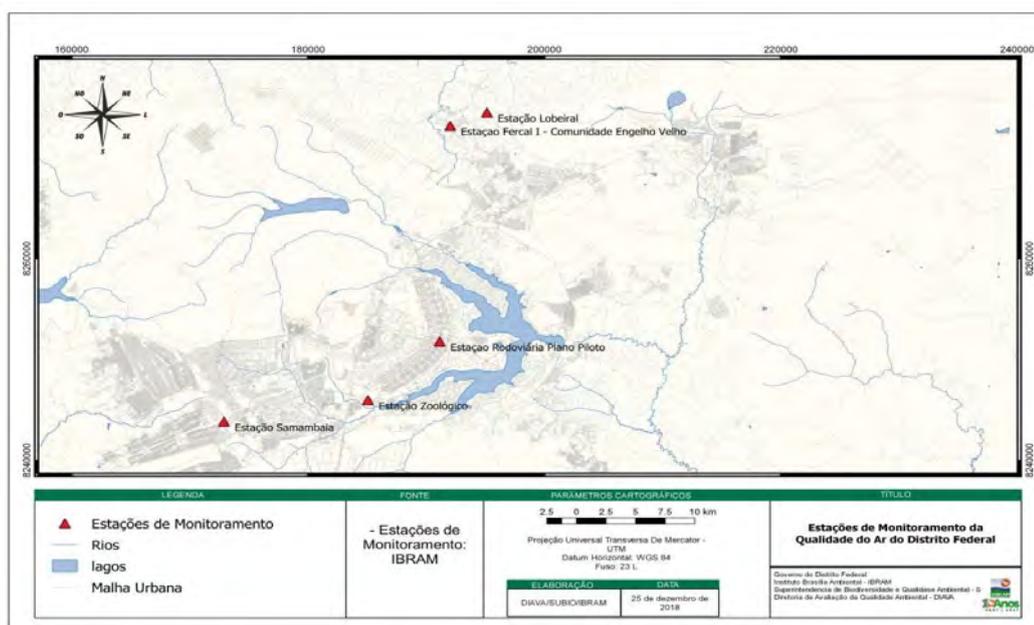
Brasília apresenta um bom padrão da qualidade do ar externa, mesmo com uma parcela expressiva da população que depende de veículos automotivos particulares para locomoção; a cidade não possui rede de indústrias poluidoras, uma das principais fontes de poluição urbana (AGUIAR, 2017).

O Distrito Federal possui o Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar do Distrito Federal que é mantido e coordenado pelo Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – Brasília Ambiental (IBRAM).

O IBRAM utiliza indicador denominado Índice de Qualidade do Ar (IQAR), possível classificar a qualidade do ar em Boa, Moderada, Ruim, Muito Ruim ou Péssima. Resultados classificados como Boa e Moderada são considerados aceitáveis, pois o primeiro não oferece nenhum risco à saúde humana e o segundo não apresentam grandes riscos para população em geral, podendo apenas apresentar sintomas leves como tosse seca e cansaço em pessoas de grupos sensíveis - crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas (BRASÍLIA, 2019).

O programa supracitado é composto de seis estações de monitoramento, distribuídas conforme ilustrado no mapa 1, com equipamentos manuais capazes de monitorar material particulado total (PTS) e material Particulado inalável (PM10) (Brasília, 2019).

Mapa 1: Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar do Distrito Federal.



Fonte: BRASÍLIA, 2019.

A Estação Rodoviária Plano Piloto é a mais próxima das duas unidades hospitalares que serão abordadas neste trabalho. Os resultados obtidos nessa estação no ano de 2019 foram de uma média anual de 55.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, resultado considerado de qualidade Moderada, que são considerados aceitáveis e não apresentam grandes riscos para população em geral (BRASÍLIA, 2019).

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A qualidade do ar interno na arquitetura hospitalar e a Ventilação Natural

A Organização Mundial de Saúde – OMS (2009) reconhece que a qualidade do ar interior (QAI) é um fator de risco para a saúde humana e um indicador de Saúde Pública. A boa QAI em edifícios é de grande importância, pois a inspiração de um ar poluído pode afetar diretamente no bem-estar, no conforto e na produtividade de seus usuários. A QAI está relacionada, ainda, com a Síndrome do Edifício Doente (SED), definida por um conjunto de doenças causadas ou estimuladas pela poluição do ar em espaços fechados (SUNDELL, 2004), como pode ser observado no excerto abaixo.

A baixa QAI também pode causar sintomas mais perceptíveis cotidianamente, como aqueles relacionados à Síndrome do Edifício Doente – SED. Tais sintomas interferem na produtividade e no desempenho de tarefas, seja em ambientes de trabalho ou em residências (SALES, 2016, p.36).

Para evitar ou minimizar as adversidades supracitas causadas pela pouca QAI é necessária a identificação dos fatores que influenciam diretamente na QAI, desde a concepção do projeto.

Segundo Sales (2016), tanto fatores externos quanto os internos ao projeto influenciam na QAI. Para o autor, os principais fatores externos que interferem na QAI são a composição da superfície do entorno (material particulado, pólen, pesticidas, radônio, etc.), a alta presença de veículos automotivos, de atividades industriais e comerciais; já os fatores internos estão relacionados às aberturas das esquadrias como o dimensionamento, o posicionamento e a distribuição das janelas. Outro item de destaque, citado pelo autor, para a promoção da boa QAI é o potencial de aproveitamento da ventilação natural, que pode ser avaliado pela velocidade, orientação e frequência dos ventos predominantes; pela presença de vegetação no entorno; pela superfície do solo e pela umidade e temperatura do ar. Os fatores citados podem ser visualizados no Quadro 1.

Quadro 1: Fatores que influenciam na QAI.

Fatores que influenciam na QAI	
Fatores Externos	<ul style="list-style-type: none">➤ Superfície do entorno➤ Presença de veículos automotivos➤ Atividades industriais➤ Atividades comerciais
Fatores Internos	<ul style="list-style-type: none">➤ Dimensionamento das janelas➤ Posicionamento das janelas➤ Distribuição das janelas
Potencial de Aproveitamento da Ventilação	<ul style="list-style-type: none">➤ Velocidade dos ventos➤ Orientação dos ventos➤ Frequência dos ventos➤ Presença de vegetação no entorno➤ Presença de massa de água➤ Superfície do solo➤ Umidade do ar➤ Temperatura do ar

Fonte: Adaptado de SALES (2016), p. 38 a 43.

No excerto abaixo, nota-se a relevância da proximidade do edifício com as “massas de água e vegetação” para o aproveitamento da ventilação natural.

A proximidade com massas de água e vegetação, e a topografia do sítio, são variáveis importantes para a conformação do microclima do sítio de interesse, as quais estão diretamente relacionadas à ventilação natural no espaço urbano. Assim, conhecer as características do ar e as variáveis que interferem em seu comportamento possibilita ao projetista trabalhar com diretrizes durante o desenvolvimento do projeto, visando ao melhor aproveitamento da ventilação natural (SALES, 2016, p.50).

A QAI requer maior atenção em edifícios de saúde, principalmente nos ambientes hospitalares, já que eles possuem uma relação direta com a saúde humana. Poluentes químicos e biológicos, comumente existentes nessa tipologia arquitetônica, pode comprometer a saúde de seus usuários. Dessa forma, a boa qualidade do ar pode exercer forte influência na velocidade da recuperação dos pacientes e na redução de infecções hospitalares (QUADROS, 2008).

Uma das formas de obter uma adequada QAI é por meio da ventilação natural, uma estratégia bioclimática facilmente empregada em regiões de climas quentes. Essa estratégia permite renovação contínua do ar interno,

matem a salubridade do ambiente e promove, ainda, conforto térmico (FERNANDES, 2009, SALES, 2016; GOBBI et al, 2019).

A ventilação natural (...) Possui como principal propósito a introdução de ar limpo em um determinado recinto ou espaço externo tendo em vista a remoção de poluentes do ar. (...) Além de influenciar a saúde dos ocupantes do edifício, as características de temperatura, umidade e velocidade do ar também são determinantes para assegurar condições adequadas de conforto térmico (SALES, 2016, p.32).

Em edifícios hospitalares, a ventilação natural ajuda a controlar a infecção hospitalar por meio da renovação do ar nos ambientes onde não há obrigatoriedade do uso de sistemas de ar condicionado. A ventilação natural possui relação direta com a eficiência energética, com o conforto térmico e a sustentabilidade do espaço construído, devido à baixa demanda energética pelo uso limitado de sistemas artificiais de climatização.

Nos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) é fundamental o conforto ambiental para a condição de bem-estar dos usuários (ROMERO, 2016). Segundo Alves (2011), essa possibilidade de conforto, na prática, é plausível apenas se “aspectos básicos” forem considerados desde a concepção do projeto. Esses aspectos abarcam condicionantes climáticas e soluções arquitetônicas que valorizam o clima local, definidas como estratégias bioclimáticas.

As estratégias bioclimáticas são diretrizes que proporcionam ao edifício “características construtivas apropriadas para o clima em que se inserem, seja pelo uso de materiais adequados, de orientação favorável ou de dispositivos físicos passivos que propiciem o conforto ambiental” (LUCAS, 2007, p.46).

Nesse contexto, os hospitais da Rede Sarah Kubitschek, projetados pelo arquiteto Lelé, por meio da utilização da ventilação natural, da boa QAI e da iluminação natural nessas unidades tornam os ambientes mais humanos e termicamente confortáveis, evitam a frequência de espaços herméticos e auxiliam no controle da infecção hospitalar.

Intervenções arquitetônicas são necessárias para a elaboração de ambientes mais sustentáveis, para o melhor aproveitamento da ventilação natural e conseqüentemente para a obtenção da boa QAI e do conforto térmico;

algumas dessas intervenções são citadas por Romero (2015a, 2016) e descritas na tabela 2.

Tabela 2: Intervenções Arquitetônicas para promoção da Ventilação Natural.

Estratégia Bioclimática	Intervenções Arquitetônicas
Ventilação Natural	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vedações modulares leves, permeáveis; ➤ Porosidade da massa construída; ➤ Aberturas que permitem ventilação cruzada; ➤ Aberturas inferiores (entrada de ar frio) e superiores (saída do ar quente); ➤ Camada de ar ventilada nas fachadas e ➤ Resfriamento noturno (vãos controláveis).

Fonte: Adaptado de ROMERO (2015a, 2016), p. 95 a 97.

6. PROPOSTA DE UM INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO PARA A QAI E A VENTILAÇÃO NATURAL

O instrumento proposto é formado por uma tabela simples, composta por um checklist com parâmetros que influenciam na Qualidade do Ar Interno (QAI) e intervenções arquitetônicas que favorecem a ventilação natural, a principal estratégia bioclimática adotada para a promoção da boa QAI. O levantamento de dados para a composição dessa tabela foi realizado de acordo com os aspectos abordados neste trabalho e considerados de relevância para projetos de ambientes hospitalares, conforme tabela 3.

Tabela 3: Proposta de Instrumento de Avaliação para QAI e Ventilação Natural.

Instrumento de Avaliação da Qualidade do Ar Interno (QAI) e da Ventilação Natural		
Fatores que influenciam na QAI	Checklist	Anotações
Fatores Externos	Superfície do entorno	
	Presença de veículos automotivos	
	Atividades industriais	
	Atividades comerciais	
Fatores Internos	Dimensionamento das janelas	
	Posicionamento das janelas	
	Distribuição das janelas	
	Velocidade dos ventos	
	Orientação dos ventos	
	Frequência dos ventos	

Potencial de Aproveitamento da Ventilação	Presença de vegetação no entorno		
	Presença de massa de água		
	Superfície do solo		
	Umidade do ar		
	Temperatura do ar		
	Massa de água		
Intervenções Arquitetônicas		Checklist	Anotações
Ventilação Natural	Vedações modulares leves, permeáveis		
	Porosidade da massa construída		
	Aberturas que permitem ventilação cruzada		
	Aberturas inferiores (entrada de ar frio) e superiores (saída do ar quente)		
	Camada de ar ventilada nas fachadas		
	Resfriamento noturno (vãos controláveis)		

A tabela proposta pode auxiliar o arquiteto na fase de projeto e possibilita a esse profissional a verificação, na fase projeto, dos itens inerentes para a boa QAI e para a Ventilação Natural. O instrumento proporciona uma visão geral das contemplações ou não, no projeto, dos itens supracitados; ele é flexível, permite anotações e modificações complementares. Ele permite, ainda, utilização em edifícios hospitalares construídos e ocupados, auxiliando nos levantamentos físicos de APOs.

7. HOSPITAIS OBJETOS DE ESTUDO

Hospital Sarah Brasília

O Hospital Sarah Brasília está localizado na Asa Sul, no Plano Piloto de Brasília, Distrito Federal. O hospital é um projeto do arquiteto João Filgueiras Lima. Trata-se de uma obra que sintetiza princípios técnico-construtivos e conceituais com ênfase na promoção de espaços arquitetônicos com conforto ambiental e humanizado, diferente da arquitetura hospitalar predominante até meados da década de 1960, que era caracterizada por hospitais funcionalistas e cerrados.

O hospital foi inaugurado em 1980. Ele gerou e consolidou princípios, conceitos e técnicas que o transformaram em centro de referência internacional

e que fundamentaram o processo de criação da Rede Sarah. No Sarah Brasília, nota-se a verticalização de parte do edifício e a utilização de vigas vierendeel de concreto. Já nos demais setores, definidos a partir de uma ocupação horizontal, percebe-se o uso de sistema de cobertura pré-fabricada, conhecida como shed, que foi posicionado de modo a captar os ventos predominantes e a favorecer a iluminação zenital dos ambientes internos.

Aguiar (2017) demonstra a incidência direta dos ventos à 90° da normal na fachada da internação dos ventos predominantes do Leste, conforme a Figura 1, o que comprova o estudo prévio do arquiteto em relação à orientação, a disposição e a distribuição das aberturas de forma a captar e elevar o potencial de ventilação natural. Dessa forma, a QAI é elevada em consequência da constante renovação do ar promovida pela ventilação natural.

Figura 1: Fluxo de Ventos Predominantes nas fachadas do Bloco de Internação do Hospital Sarah Brasília.



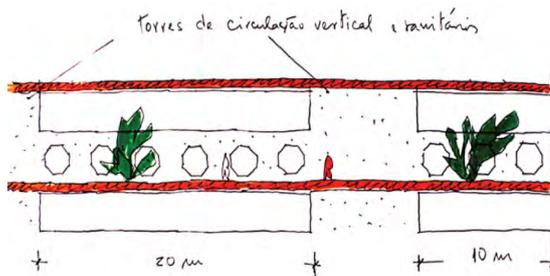
Fonte: AGUIAR, 2017.

Na Figura 1 é perceptível a disposição de vegetação no entorno da edificação. De acordo com Romero (2007), a vegetação tem a capacidade de filtrar agentes poluentes do ar, além de, reduzir a temperatura e elevar umidade relativa do ar por meio da criação microclima diferenciado em relação às áreas com ausência de vegetação.

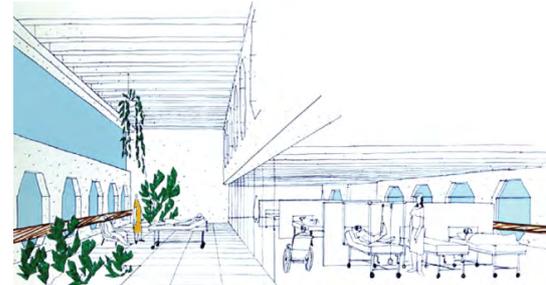
O edifício de internação dispõe suas aberturas na orientação leste/oeste. Essas aberturas foram feitas na estrutura das vigas vierendeel (Figuras 1 e 2) e elas permitem a permeabilidade da ventilação natural na estrutura das vigas -

ventilação cruzada (AGUIAR, 2017). Nota-se que essas vigas apresentam-se como a principal estratégia bioclimática para ventilação natural no edifício de internação. Elas, além de permitirem a ventilação cruzada pelas aberturas hexagonais, possibilitam a iluminação natural das enfermarias, funcionam, ainda, como guarda-corpo e como protetor solar externo (MENEZES, 2010).

Figuras 1 e 2: À esquerda, viga vierendeel. À direita, o croqui do interior das enfermarias conjugadas e os terraços-jardim.



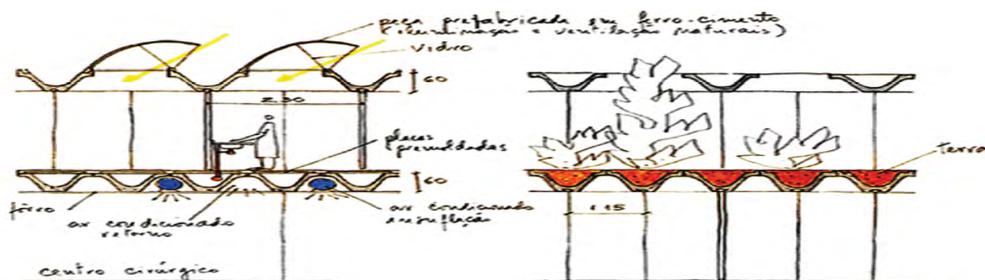
Fonte: MENEZES, 2010.



Fonte: MENEZES, 2010.

Diferente do bloco de internação (edifício vertical), os edifícios horizontais têm os sheds como principal estratégia para a ventilação e a iluminação naturais. O arquiteto projetou uma cobertura composta por vigas calha e sheds (Figura 3) “posicionados de modo a captar os ventos predominantes e favorecer a iluminação zenital dos ambientes internos” (MENEZES, 2010, p. 94).

Figura 3: Cortes da cobertura dos edifícios horizontais – sistema de ventilação e iluminação natural



Fonte: MENEZES, 2010.

As estratégias bioclimáticas de ventilação cruzada e de iluminação natural permitem ao edifício reduzir a utilização de sistemas artificiais de climatização, garantindo com isso uma melhor qualidade do ar e ambiente mais humanizados.

Em relação QAI estabelecida pela renovação de ar, Aguiar (2007) simulou a vazão do ar em uma enfermaria do bloco de internação (Figura 1), por meio do programa computacional CFD (Computational Fluid Dynamics – CFD Autodesk

2015) e obteve o resultado de vazão de ar de 15,92 m³/s no ambiente como um todo e 0,88 m³/s por paciente (capacidade de 8 pacientes na enfermaria analisada). Os valores mínimos exigidos em um ambiente para obter uma boa QAI são de 0,06 m³/s por pessoa (ATKINSON et al., 2009). Dessa forma, percebe-se que a taxa de renovação do ar nessa enfermaria é elevada, com uma vazão de ar quatorze vezes acima do valor mínimo recomendado.

Aplicação do Instrumento de Avaliação proposto no Hospital Sarah Brasília

Tabela 4: Instrumento de Avaliação para QAI e Ventilação Natural aplicado no Hospital Sarah Brasília.

Instrumento de Avaliação da Qualidade do Ar Interno (QAI) e da Ventilação Natural			
Fatores que influenciam na QAI	Checklist	Anotações	
Fatores Externos	Superfície do entorno	X	Estudado/Adequado
	Presença de veículos automotivos	X	
	Atividades industriais	-	
	Atividades comerciais	-	
Fatores Internos	Dimensionamento das janelas	X	Estudado/Adequado
	Posicionamento das janelas	X	
	Distribuição das janelas	X	Estudado/Adequado
Potencial de Aproveitamento da Ventilação	Velocidade dos ventos	X	Estudado/Adequado
	Orientação dos ventos	X	Estudado/Adequado
	Frequência dos ventos	X	Estudado/Adequado
	Presença de vegetação no entorno	X	
	Presença de massa de água	-	
	Superfície do solo	X	
	Umidade do ar	X	Estudado/ Falta alguma intervenção arquitetônica para a baixa umidade no período seco
	Temperatura do ar	X	Estudado/Adequado

Intervenções Arquitetônicas		Checklist	Anotações
Ventilação Natural	Vedações modulares leves, permeáveis	X	
	Porosidade da massa construída	X	
	Aberturas que permitem ventilação cruzada	X	
	Aberturas inferiores (entrada de ar frio) e superiores (saída do ar quente)	-	
	Camada de ar ventilada nas fachadas	-	
	Resfriamento noturno (vãos controláveis)	-	

Hospital Sarah Lago Norte

O hospital Sarah Lago Norte é, igualmente ao Sarah Brasília, um projeto do arquiteto Lélé, que foi construído em 1995, fora do perímetro urbano, com extensa área verde e as margens do lago Paranoá, para funcionar como anexo ou estrutura de apoio ao primeiro hospital dessa rede.

Hospital SARAH Brasília... onde um conjunto de edifícios interligados foi implantado em um pequeno lote em uma zona de grande adensamento urbano que, por conseguinte, não lograva grandes espaços verdes para que os pacientes pudessem praticar a reabilitação ao ar livre, como se dá em outros hospitais da Rede SARAH, bem como não havia áreas disponíveis para a expansão de atividades de pesquisa, em particular, a Neurologia (AGUIAR, 2017, p. 101).

Inaugurado em 2003, o hospital Sarah Lago Norte, Centro Internacional de Neurociências e Reabilitação, é destinado exclusivamente ao atendimento ambulatorial, que opera em uma etapa mais avançada do processo de reabilitação do paciente e oferece suporte fundamental a pesquisas avançadas na área de reabilitação (REDE SARAH DE HOSPITAIS DE REABILITAÇÃO, 2020).

Trata-se de um projeto composto de três edifícios amplos e horizontais, com 24 m² de área construída, que foi implantado em um terreno de 80.000 m². Os espaços projetados foram adequados ao entorno, ainda, mediante aproveitamento da orientação de incidência solar, dos ventos predominantes e da vegetação existente para a promoção da iluminação e ventilação naturais e para o resfriamento e sobreamento dos ambientes.

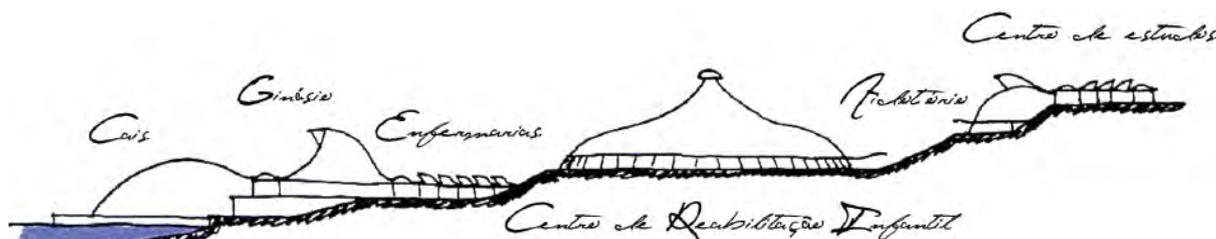
Figuras 4: Vista aérea dos edifícios do hospital Sarah Lago Norte.



Fonte: ALVES, 2011.

O conjunto Sarah Lago Norte (Figura 5) possui sua “volumetria e detalhes arquitetônicos projetados especificadamente para o aproveitamento da ventilação natural” (AGUIAR, 2017, p.121). A promoção da ventilação natural foi sempre uma preocupação de Lelé em sua arquitetura hospitalar. O edifício do Centro de Reabilitação Infantil (Figura 5) apresenta sheds com um formato que possibilita a troca de ar por convecção, a altura do pé-direito e as curvas aerodinâmicas da cobertura favorecem a saída de ar por meio da sucção do ar de dentro para fora do edifício. A capacidade natural de ventilação da cobertura é suficiente para estimular a troca de ar dispensando a necessidade de ventiladores nas galerias de tubulações (ALVES, 2011).

Figura 5: Corte esquemático da setorização do Programa do Sarah Lago Norte.

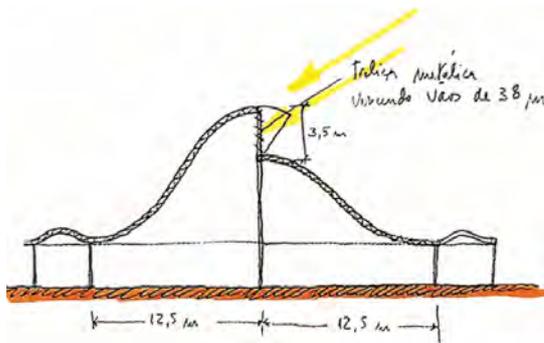


Fonte: MENEZES, 2010.

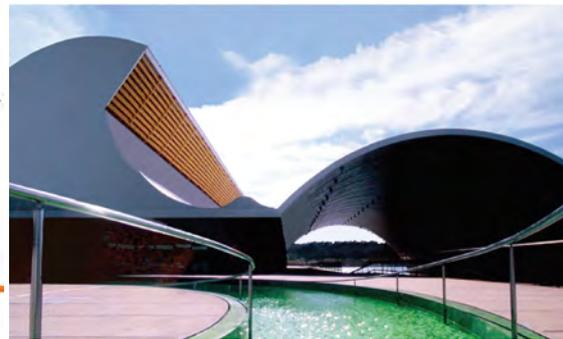
Na cobertura do Ginásio de Reabilitação, Figuras 6 e 7, percebe-se o shed, em forma de uma grande onda, que foi projetada pela conexão de duas treliças metálicas curvas, apresentando uma camada de cobertura dupla que permite a formação de colchão de ar e restringe a insolação direta, além da promoção da ventilação e da iluminação natural. Os sheds possibilitam, ainda, o controle da incidência solar nos ambientes internos, que é benéfico ao controle de infecção. Essa cobertura mesmo com poucos pontos de apoio ela vence um vão de trinta

e oito metros. Para Menezes (2010), esse “raciocínio projetual” determinou o formato do edifício, a condições de conforto térmico, de conforto luminoso e permitiu ao ambiente um espaço amplo e sem obstáculos, que facilita desenvolvimento das atividades esportivas e terapêuticas dos pacientes.

Figuras 6 e 7: À esquerda, Croqui da cobertura do Ginásio. À direita, cobertura do Ginásio em Shed e do Cais em Arco.



Fonte: MENEZES, 2010.



Fonte: MENEZES, 2010.

Em relação QAI estabelecida pela renovação de ar, o estudo de Aguiar (2007), já citado, obteve o resultado de vazão de ar de 11,54 m³/s no ambiente como um todo e 0,48 m³/s por paciente (capacidade de 8 pacientes na enfermaria analisada). Dessa forma, percebe-se que a taxa de renovação do ar nessa enfermaria é elevada, com uma vazão de ar oito vezes acima do valor mínimo recomendado.

Aplicação do Instrumento de Avaliação proposto no Hospital Sarah Lago Norte

Tabela 5: Instrumento de Avaliação para QAI e Ventilação Natural aplicado no Hospital Sarah Brasília.

Instrumento de Avaliação da Qualidade do Ar Interno (QAI) e da Ventilação Natural			
Fatores que influenciam na QAI		Checklist	Anotações
Fatores Externos	Superfície do entorno	X	Estudado/Adequado
	Presença de veículos automotivos	-	
	Atividades industriais	-	
	Atividades comerciais	-	
Fatores Internos	Dimensionamento das janelas	X	Estudado/Adequado
	Posicionamento das janelas	X	Estudado/Adequado

Potencial de Aproveitamento da Ventilação	Distribuição das janelas	X	Estudado/Adequado
	Velocidade dos ventos	X	Estudado/Adequado
	Orientação dos ventos	X	Estudado/Adequado
	Frequência dos ventos	X	Estudado/Adequado
	Presença de vegetação no entorno	X	
	Presença de massa de água	X	
	Superfície do solo	X	Estudado/Adequado
	Umidade do ar	X	Estudado/Adequado
	Temperatura do ar	X	Estudado/Adequado
Intervenções Arquitetônicas		Checklist	Anotações
Ventilação Natural	Vedações modulares leves, permeáveis	X	
	Porosidade da massa construída	X	
	Aberturas que permitem ventilação cruzada	X	
	Aberturas inferiores (entrada de ar frio) e superiores (saída do ar quente)	X	
	Camada de ar ventilada nas fachadas	X	
	Resfriamento noturno (vãos controláveis)	X	

8. RESULTADOS

A partir do emprego do Instrumento de Avaliação da QAI e da Ventilação Natural proposto neste artigo, nos hospitais Sarah Brasília e Sarah Lago Norte, foi possível a comparação da adoção da ventilação natural como estratégia bioclimática, pelo arquiteto Lelé, nos edifícios estudados.

No hospital Sarah Brasília, em razão da localização e da dimensão restrita do terreno, houve necessidade de verticalizar parte do edifício. Essa verticalização constituiu um fator desfavorável, visto que, as tipologias horizontais são mais vantajosas em relação ao custo de produção, à organização espacial, ao desempenho térmico e luminoso da edificação (MENEZES, 2010). Algumas das consequências dessa localização em um perímetro urbano e da restrição no dimensionamento do terreno foram: a presença constante de veículos automotivos no entorno (poluição do ar e sonora); à privação do hospital as extensas áreas verdes; o aproveitamento da ventilação natural apenas de

forma cruzada; a privação do ambiente aos espelhos d'água, estratégia importante para regiões com o clima quente e seco como o de Brasília. Mesmo com as adversidades encontradas no entorno do Sarah Brasília e da reduzida área do terreno, percebe-se que a taxa de renovação do ar é elevada devido às intervenções arquitetônicas aplicadas no projeto, por Lelé, para a promoção da ventilação natural, uma importante e eficiente estratégia bioclimática.

As limitações impostas ao primeiro hospital da Rede Sarah foram superadas pelo arquiteto com a criação do Centro Internacional de Neurociências e Reabilitação ou Centro de Apoio ao Grande Incapacitado Físico do Lago Norte.

Nas duas unidades hospitalares, objetos de estudos, observam-se a intensa presença de sheds. Eles são elementos que caracterizam a linguagem arquitetônica de toda a Rede Sarah e que proporcionam a ventilação e a iluminação naturais; os sheds proporcionam, ainda, a constante renovação do ar e boa QAI. No primeiro hospital esse elemento foi utilizado para a entrada da ventilação e da iluminação natural; no segundo hospital, percebe-se que os sheds evoluíram, sua função passou a ser de saída da ventilação natural por convecção e controle da iluminação.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O arquiteto Lelé, por meio da adoção de estratégias bioclimáticas nos dois hospitais estudados, demonstrou o seu conhecimento sobre clima de Brasília e a influência dessa variável sobre edifício. Para a Capital Federal, que tem o clima classificado como tropical de altitude (verão quente e úmido; inverno seco e frio), o emprego de ar-condicionado para a climatização dos hospitais, além de dispendioso, tornaria esses ambientes mais herméticos, desconfortáveis e pouco humanizados.

Os Centros de Reabilitação Sarah Brasília e o Sarah Lago Norte possibilitam aos seus pacientes uma recuperação mais rápida e aos seus profissionais um ambiente de trabalho mais agradável. Isso ocorre devido à boa QAI e na qualidade dos ambientes, que foram alcançadas ao adequar seus edifícios ao clima local e entorno, ao utilizar estratégias para ventilação natural e renovação constante de ar, que auxilia no controle de infecção.

Nesse trabalho, nota-se que as intervenções arquitetônicas para a promoção da ventilação natural adotadas nos projetos dos dois hospitais da Rede Sarah

foram eficientes para a elevação da QAI. A adoção dessa estratégia foi eficaz, ainda, para que os ambientes apresentem-se saudáveis, evitando a Síndrome do Edifício Doente (SED).

No contexto pós-crise da pandemia da COVID-19, a busca de soluções para a redução dos custos de operação com a climatização artificial nos hospitais, como as observadas nas unidades estudadas nesse artigo, significaria ampliar e melhorar a assistência à saúde da população e evitar a proliferação dessa comorbidade.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. R. C. **Desempenho da qualidade do ar em estudos de caso de ambientes hospitalares no contexto climático de Brasília-DF**. 2017. 164 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- ALVES, Samara Neta. **A percepção visual como elemento de conforto na arquitetura hospitalar**. 2011. 212 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)—Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- ASHRAE AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook of Fundamentals**. Atlanta, 1999.
- CHRISTOPOULOS, Sofia C. **Desempenho térmico e eficiência energética em ambiente hospitalar**: estudo de fachada do setor de internação do Hospital do Coração, localizado na cidade de Maceió. (Dissertação de Mestrado). Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2017.
- FERNANDES, Júlia Teixeira. **Código de obras e edificações do DF**: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética. 2009. 249 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- GOBBI, Mirna Elias; SANTOS, Mauro; ROLA, Sylvia Meimaridou. **Qualidade do ar e ventilação natural no ambiente hospitalar - o exemplo do edifício Sarah Kubitschek no Rio de Janeiro**. 2019.

- LUCAS, Christine P. **Análise bioclimática de conjunto arquitetônico moderno de valor cultural:** a Faculdade de Educação da Universidade de Brasília. 2017. 178 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)—Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- MENEZES, Simone Alves Prado. **Qualidade do ambiente construído: o caso da UPA Samambaia.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Pesquisa e Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília/ DF, 2012.
- QUADROS, M. E. **Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares:** parâmetros físico-químicos e microbiológicos. 2008. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.
- ROMERO, M.; SOUZA, V. **Construindo um Sistema de Indicadores de Sustentabilidade Intra-urbano Associados à Ventilação nos Espaços Públicos.** Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo / Revista do Programa de Pós-Graduação da FAU-UnB. Ano 6, n. 4 (novembro/2007). P. 81-94. 2007.
- ROMERO, Marta A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano.** 2000. 1ª Edição. São Paulo: Editora CopyMarket.com. 2000.
- SAMPAIO, Virgínia. **Arquitetura hospitalar: projetos ambientalmente sustentáveis, conforto e qualidade. Proposta de um instrumento de avaliação.** 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2005.
- SUNDELL, J. (2004). **On the history of indoor air quality and health.** *Indoor Air*, 14 (2), 51-58, 2004.
- ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília.** 2015. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

TEMA 3: TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Estudos relacionados à tecnologia de materiais, componentes, elementos, sistemas e processos, no âmbito da construção e sua materialização, envolvendo inovação tecnológica, aperfeiçoamento das técnicas construtivas e de produção, industrialização da construção, prototipagem e fabricação digitais. Avaliação da qualidade construtiva visando os estudos do estado de conservação, desempenho e vida útil das edificações, assim como a manutenção e reabilitação do ambiente construído.

Artigos:

- XII. *Trincas Em Sistemas De Vedação Decorrentes Da Resistência Do Concreto*
Oliveira, I.; Pantoja, J.; Buzar, M.
- XIII. *Avaliação Probabilística Do Nível De Segurança E Durabilidade De Estruturas Existentes Em Concreto Armado – Aplicação Em Um Reservatório Elevado*
Porto, N.; Pantoja, J.; Pinheiro, H.
- XIV. *A Conservação Do Patrimônio Moderno Através Das Práticas De Retrofit Na Infraestrutura Urbana De Brasília*
Galimi, S.; Buzar, M.; Pantoja, J.; Naili, L.
- XV. *A Influência Da Fabricação Digital Junto Ao Design Aberto Nas Novas Gerações De Produtos*
Milani, V.; Pantoja, J.; Busón, M.
- XVI. *Degradarão E Processo De Recuperação De Obra De Infraestrutura: Viaduto Galeria Dos Estados*
Costa, W.; Pantoja, J.; Buzar, M.; Junior, Francisco

XII

TRINCAS EM SISTEMAS DE VEDAÇÃO DECORRENTES DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO

CRACKS IN SEALING SYSTEMS DUE TO THE STRENGTH OF CONCRETE

Iberê Pinheiro de Oliveira

PPG/FAU - UNB

Brasília – Distrito Federal, Brasil

iberep@gmail.com

João da Costa Pantoja

PPG/FAU - UNB

Brasília - Distrito Federal, Brasil

joaocpantoja@gmail.com

Marcio Augusto Roma Buzar

PPG/FAU - UNB

Brasília – Distrito Federal, Brasil

marcio.buzar@gmail.com

Resumo: O estudo de deformações em estruturas é uma parte da análise de manifestações patológicas em edifícios. As trincas apresentadas em sistemas estruturais ou mesmo em sistemas de vedação é recorrente. Com este foco, o presente estudo analisa trincas em sistemas de vedação decorrente de deformações estruturais, comprovando a necessidade do estudo da rigidez final do pórtico e preservação do desempenho durante a vida útil do empreendimento.

Palavras-chave: deformação, alvenaria, inspeção, módulo de elasticidade, inércia.

Abstract: The study of deformations in structures is part of the analysis of pathological manifestations in buildings. Cracks in structural systems or even in sealing systems are recurrent. With this focus, the present study analyzes cracks in sealing systems due to structural deformations, proving the need to study the final stiffness of the gantry and preserving performance during the life of the project.

Keywords: deformation, masonry, inspection, modulus of elasticity, inertia.

1. INTRODUÇÃO

Fissuras em estruturas são objeto de profunda discussão no ramo de construção civil, tanto da equipe de projetos como na equipe de execução da obra. Fatores como variação térmica, absorção higroscópica, cura dos materiais durante o processo construtivo, alteração química, problemas durante a concepção das formas e esforços secundários na análise do cálculo já possuem estudos apresentados em literatura técnica e pesquisas acadêmicas. Este artigo

apresenta a visão de fissuras encontradas em elementos estruturais em concreto armado decorrentes da falta de controle do concreto. A análise teórica visa possibilitar nova fonte de estudos e apoio na inspeção visual de sistemas estruturais. As fissuras são as manifestações patológicas mais perceptíveis em inspeções visuais, segundo GOMIDE (2011), por meio de sua forma pode-se propor as causas motivadoras do infortúnio.

2. FISSURAS

Conforme ABNT NBR 6118 (2014), não há precisão suficiente nas equações para estimar o local e a dimensão de abertura das fissuras, uma vez que podem ser ocasionadas por diversos fatores executivos, ambientais ou mesmo restrições às variações volumétricas da estrutura. O item 17.3.3.2 da referida norma chega a adaptar a fórmula de Branson e apresenta o critério aceitável para controle da fissuração através da limitação estimada das fissuras. O resultado da equação deve ser limitado no concreto armado a abertura de 0,3 mm e para concreto protendido 0,2 mm.

A ABNT NBR 1575-2 (2013) já estabelece que fissuras são visuais e podem chegar a 0,6 mm. A partir deste valor de referencia, propõe a nomenclatura “trinca”.

BOLINA (2019) complementa o parâmetro de nomenclatura desta manifestação patológica conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação de aberturas segundo sua amplitude. Fonte: Bolina (1019)

Tipo de Abertura	Dimensões (mm)	Ação Proposta na estrutura
Microfissuras	$< 0,2$	Sem problemas
Fissura	$0,2 < x < 0,4$	Verificar classe ambiental da agressividade
Trinca	$0,5 < x < 1,4$	
Rachadura	$1,5 < x < 5,0$	Acima dos limites
Junta	$x > 5,1$	

BOLINA (2019), propõem que durante a inspeção o técnico tome decisões de acordo com a abertura encontrada, sendo alarmante o valor acima de 0,4 mm, ou mesmo sem problemas no valor inferior 0,2 mm.

3. RIGIDEZ

Conforme ABNT NBR 6118 (2014) a rigidez é uma propriedade física estabelecida através do resultado da multiplicação da componente do material,

representado pelo Módulo de Elasticidade Secante (E_{cs}), pelo componente da forma bruta do elemento estrutural, representado pela grandeza física denominada Inércia (I). A equação característica para o cálculo de flechas – primeira deformação visível após a desforma, é representada por:

$$(EI)_{eq,10} = E_{cs} \left[\left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_{II} \right] \leq E_{cs} I_c \quad \text{Eq. 1}$$

onde:

I_c	Momento de Inércia seção bruta
I_{II}	Momento de Inércia seção fissurada
M_a	Momento Máximo no vão
M_r	Momento de fissuração
E_{cs}	Módulo de elasticidade secante do concreto

A Eq. 1 representa a importância da rigidez e sua dependência do material, controlado pela equipe de laboratório, e a forma, definida pela equipe de projetos. É conhecimento comum que o Módulo de Elasticidade é estabelecido de acordo com a resistência característica do concreto, ou seja, o f_{ck} . Entre outras recomendações, a rigidez conforme item 11.3.3.3 da norma ABNT NBR 6118 (2014) é a referencia no cálculo dos deslocamentos de apoio em estruturas.

Segundo ARAÚJO (2014) o processo de elaboração do projeto estrutural tem como estável a variável correspondente ao “material”, no caso o concreto, bem como sua resistência característica definida. Isto libera o calculista para o estudo da inércia dos elementos como lajes, vigas, pilares e a compatibilização com o projeto arquitetônico. E em casos de necessidade complementar, ARAÚJO (2014) apresenta a possibilidade de contar com o sistema de vedação, por exemplo alvenaria, como elemento de apoio a rigidez total da edificação.

CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2004) apresentam que o grau de confiança no material deve ser de 95%, ou seja, os ensaios do corpo de prova retirados durante a concretagem, somente 5% deles podem apresentar resistência inferior ao estabelecido no projeto estrutural. Este valor indica a confiança que o projetista da estrutura depõe sobre material tão heterogêneo e com tantas variáveis intrínsecas na sua concepção.

4. ANÁLISE DA FORMA - DIMENSIONAMENTO

Conforme TEATINI (2005) o projeto estrutural deve ser decomposto em

partes passíveis de serem verificadas, sem esta abstração seria inviável solucionar todas as equações que envolvem o cálculo.

As equações descritas por TEATINI (2005) apresentam a passagem do modelo físico, como a estrutura se comportará durante sua vida útil, para o modelo matemático com hipóteses e parâmetros de materiais e deformações estabelecidos em normas. Tanto TEATINI (2005) com outros estudiosos apresentam o fluxo de raciocínio para análise estrutural partindo da composição dos esforços aplicados com utilização do edifício, proposição do pórtico com posicionamento de lajes, vigas e pilares, análise dos esforços e finalmente o dimensionamento dos elementos e seções. Neste processo, são adotados como constantes as características do material nos pavimentos. De modo iterativo, verifica-se o consumo dos materiais principais, no caso o concreto e o aço necessários para estabilizar o elemento em análise. CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2004) que o equilíbrio da seção retangular ocorre segundo Eq. 2

$$A_s = M_d / (z * f_s) \tag{Eq. 2}$$

Onde:

M_d – Momento cálculo

f_s – tensão atuante na armadura

z – Posição da linha neutra

A variável z é estabelecida a partir da seção de concreto, portanto a área de aço é inversamente proporcional a área de concreto. De forma gráfica desta equação pode ser visto na Figura 1.

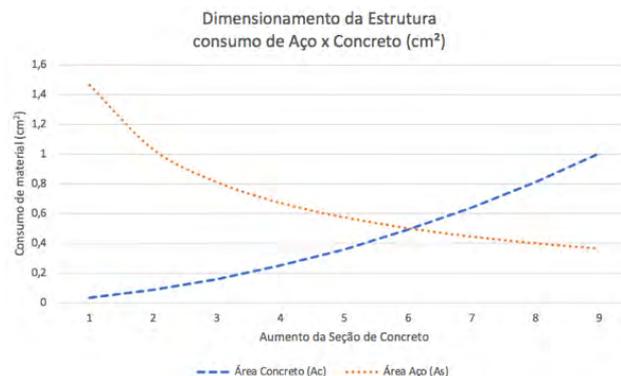


Figura 1 - Consumo de aço x concreto. Fonte: Autores

5. DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

Tema discutido na ABNT NBR 15575-2 (2013) a durabilidade é a forma quantitativa de verificar o tempo que o sistema estrutural mantém seu desempenho durante a vida útil estimada no projeto. A primeira orientação quanto aos mecanismos de deterioração da ABNT NBR 6118 (2014), refere-se ao aparecimento de lixiviação ocasionada por abertura de fissuras e entrada de água, gás carbônico, ácidos e outros componentes do ambiente de exposição. Novamente a presença de fissuras como ponto de observação durante a vistoria.

5.1 Cuidados para garantir a durabilidade do Concreto armado

Conforme ABNT NBR 6118 (2014), é necessário observar o ambiente externo onde será instalada a obra e o equilíbrio entre a quantidade de aço aplicada na seção de concreto, afim de evitar problemas durante a concretagem e abertura de fissuras. O item 17.3.5 da referida norma indica valores máximos para as armaduras com a finalidade de assegurar condições de ductilidade e de se respeitar o campo de validade dos ensaios que deram origem às prescrições de funcionamento do conjunto aço-concreto. Esta aderência é o princípio fundamental para garantir-se a durabilidade, de acordo com CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2004).

6. VERIFICAÇÃO DE DESLOCAMENTOS NAS ESTRUTURAS

Mais do que a flecha apresentada na Eq. 1, o deslocamento global da estrutura também deve ser verificado. O modelo da estrutura, segundo ARAÚJO (2014), parte de um pórtico espacial tridimensional formado por barras e planos que representam pilares, vigas e lajes. Este modelo deve resistir de forma simplificada a composição dos esforços verticais e horizontais aplicados a estrutura proposta. Figura 2.

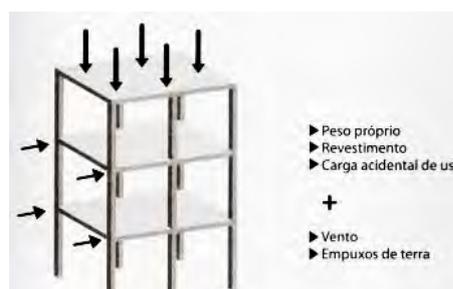


Figura 2 - Carregamentos horizontais e verticais em estruturas. Fonte: KIMURA (2018)

A estabilidade global da edificação está diretamente ligada aos efeitos de segunda ordem, que conforme KIMURA (2018) é a análise conjunta dos deslocamentos horizontais e verticais. A sobreposição destes deslocamentos pode ser visto na sua posição da estrutura deformada, após processamento computacional. Estes efeitos conjuntos que tendem a desestabilizar a edificação. IGLESIA (2016) apresenta esta deformação simultânea como a variável P-Delta, representada na Figura 3.

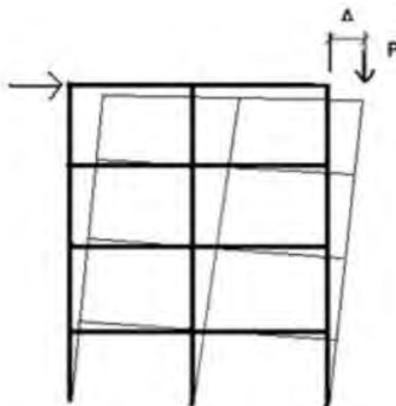


Figura 3 - Deslocamento da estrutura. Fonte: IGLESIAS (2016)

Tanto KIMURA (2018) com IGLESIA (2016) tratam o deslocamento como modelo matemático, com equações que utilizam a resistência do concreto com pouca variabilidade.

7. INSPEÇÃO EM SISTEMAS ESTRUTURAIS

A inspeção predial é um processo periódico que visa propor soluções na gestão do patrimônio além de mitigar riscos, este é principal foco da ABNT NBR 16747 (2020). A proposta desta Norma é parametrizar diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos relativos à inspeção predial, bem como etapas mínimas da atividade do inspetor. Ainda na ABNT NBR 16747 (2020) inspeção é uma avaliação sensorial baseada nos órgãos dos sentidos para evocar, medir, analisar e interpretar reações às características dos materiais como são percebidos pelos cinco sentidos: visão, olfação, gustação, tato e audição.

BOLINA (2019) apresenta o visão do técnico habilitado e capacitado que deve utilizar mais que os sentidos durante a vistoria, propondo o organograma apresetado na Figura 4.

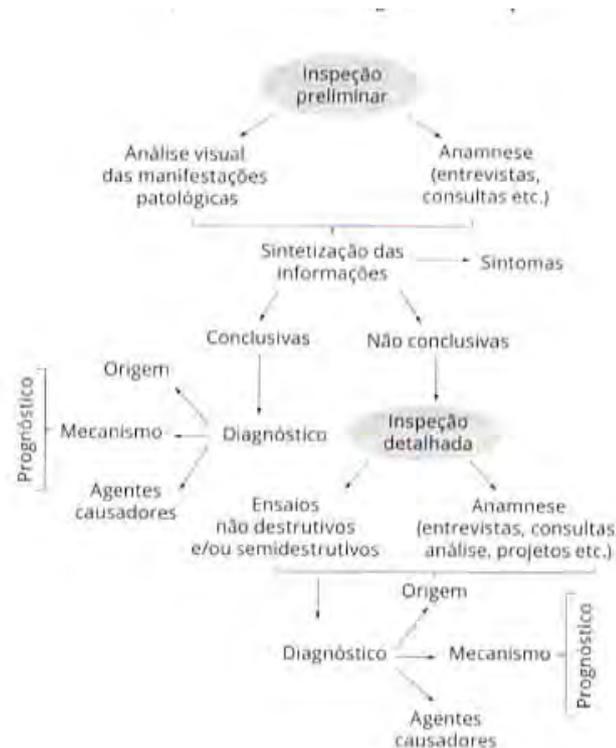


Figura 4 - Inspeção - Organograma ilustrativo. Fonte: BOLINA (2019)

A proposta de BOLINA (2019) visa o diagnóstico da manifestação patológica perceptível na inspeção, apresentado o esclarecimento das origens, mecanismo, sintomas e agentes causadores. Em sua visão BOLINA (2019) apresenta a inspeção predial como o estudo de patologias da área médica, uma vez que trata-se de estudos técnicos efetuados por profissionais arquitetos ou engenheiros. O autor ainda propõe que a inspeção passe por termos como anamnese, profilaxia, prognóstico e terapia semelhantes ao médico que emite seu parecer a respeito de uma patologia, com formulário específico.

8. ESTRUTURA MODELO

A proposta é simular a variação da resistência característica do concreto (f_{ck}) em elementos específico do prédio modelo, seguindo as recomendações da ABNT NBR 6118:2014 e verificar as deformações calculadas através do software de análise estrutural SAP 2000.

A estrutura refere-se a um edifício de quatro pavimentos tipo, térreo e garagem. No pavimento térreo, há a transição dos esforços dos pilares reposicionados para atender a compatibilidade com o projeto arquitetônico. Figura 5.

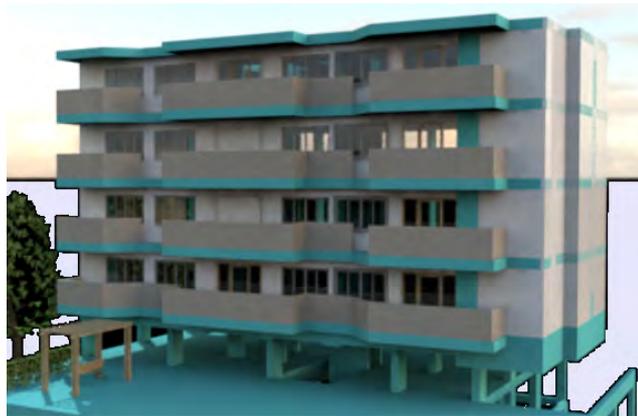


Figura 5 - Edifício modelo. Fonte: Autores

A localização dos pilares P9 (20x80), P15 (20x80) e P16 (30x90) que fazem parte da transição pode ser vistos na Figura 6.

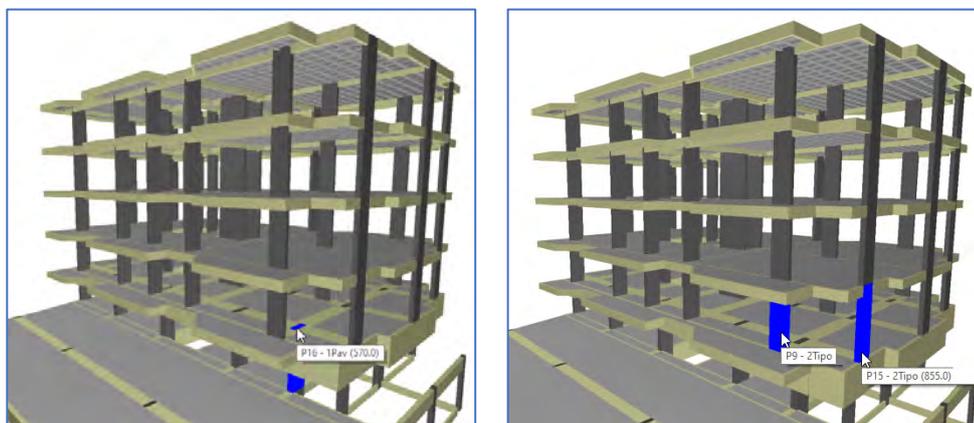


Figura 6 - Pilares em Transição. Fonte: Autores

Pode-se verificar que a necessidade de alterar a posição dos pilares exigiu vigas robustas como V204 (90x100) e V221 (80 x 100), para estabilizarem o conjunto estrutural, conforme Figura 7.

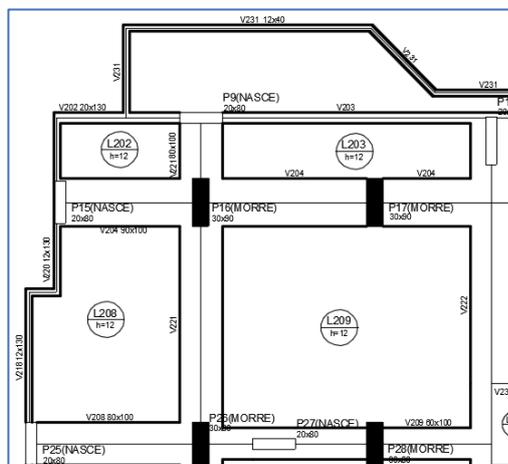


Figura 7 Trecho da forma estrutural – Pilares em transição. Fonte: Autores

Para dimensionamento dos pilares e respectiva ação de flambagem, o pé direito entre pavimentos está fixado em 2,85 metros. Figura 8.

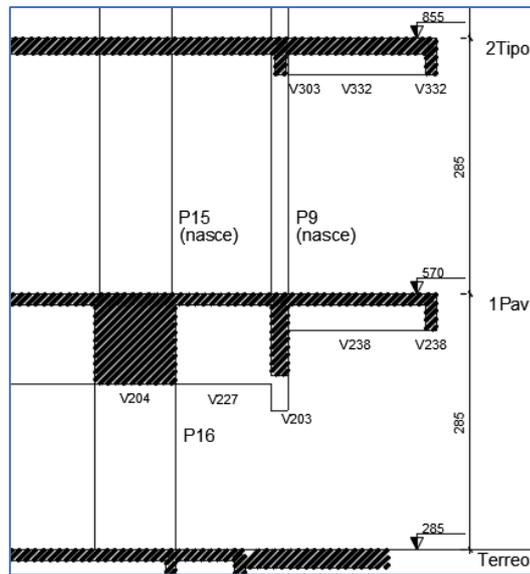


Figura 8 - Detalhes do corte – vista dos pilares em transição – Pilares em transição. Fonte: Autores

8.1 Análise do pórtico

As seções das lajes, vigas e pilares foram dimensionadas com a resistência característica do concreto constante no valor de 30 Mpa. Os elementos P16, P17, V204 e V221 terão o fck sugerido com resistências 25 Mpa e 40 Mpa. Os demais elementos como lajes vigas não tiveram variação na resistência do concreto.

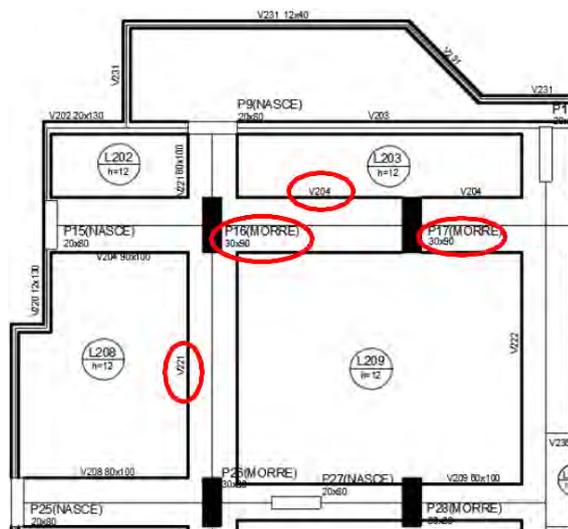


Figura 9 - Detalhes do corte – vista dos pilares em transição – Pilares em transição. Fonte: Autores

O software SAP 2000 apresenta, após o processamento, os deslocamentos do nó atendendo ao sistema de coordenadas espaciais sendo x(1), y(2) e z(3),

apresentado no croqui da Figura 10.

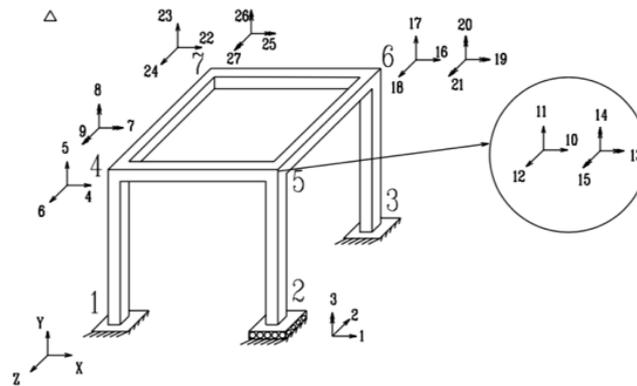


Figura 10 - Detalhes do corte – vista dos pilares em transição – Pilares em transição. Fonte: Autores

Processando a estrutura, aplicando a hipótese do fck de 25 Mpa aos elementos P16, P17, V204 e V221, e mantendo o restante da estrutura com fck 30 Mpa. A deformação do ponto 58 na sacada do apartamento apresenta os valores em metros, indicados na Figura 11.

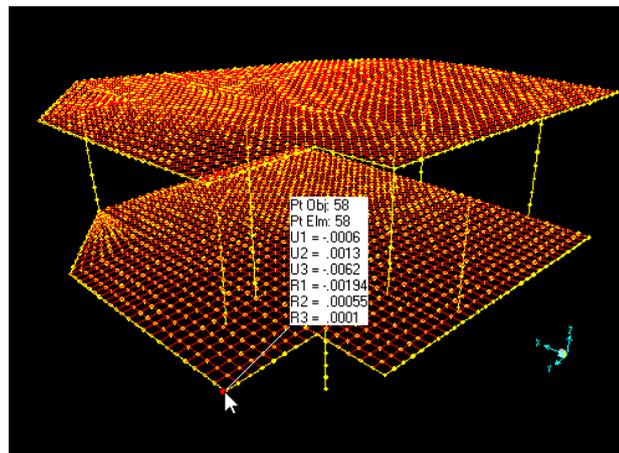


Figura 11 - Deslocamento do Ponto na sacada fck alterado para 25 Mpa nos elementos P16, P17, V204 e V222 Fonte: Autores

Convertendo os valores de deslocamento vertical correspondem a 0,06 mm na direção x (U1), o valor de 0,13 mm na direção y (U2) e 0,62 mm. Os indicadores de rotação do ponto variam apresentados como 0,194 mm.m no eixo x a 0,01 mm.m no eixo z.

Ao modificar a resistência característica para 40 Mpa nos mesmo elementos P16, P17, V204 e V221 há a variação em todas as coordenadas no ponto 58, como pode ser verificado na Figura 12.

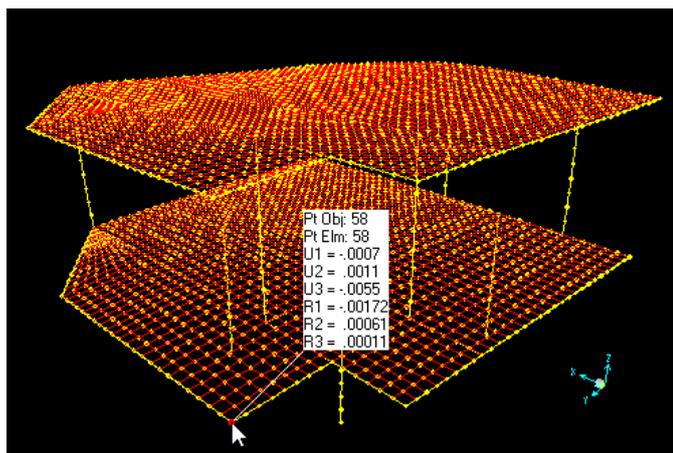


Figura 12 - Deslocamento do Ponto na sacada fck alterado para 25 Mpa nos elementos P16, P17, V204 e V22 Fonte: Autores

O ponto 58, correspondente ao extremo da sacada, se deslocou 0,07 mm no eixo x, 0,011 mm no sentido do eixo y e desceu rumo ao solo 0,55 mm no sentido z.

Quanto a rotação, o mesmo ponto variou de 0,172 mm.m no sentido x a 0,01 mm. m no sentido de z.

Comparando os resultados tem-se os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Deslocamentos em milímetros variando o fck. Fonte: Autores

Eixo	Deslocamento em mm		Variação (%)
	Fck 25	Fck 40	
U1	0,06	0,07	17%
U2	0,13	0,11	15%
U3	0,62	0,55	11%
R1	0,19	0,17	11%
R2	0,06	0,06	11%
R3	0,01	0,01	10%

9. OBSERVAÇÕES DO ESTUDO

As variações apresentadas na simulação apresentam deslocamentos no sentido do solo, eixo z (U3), apresentam valores entre 0,62 a 0,55 com possibilidade de surgimento de trincas, caso seja adotada a terminologia da Tabela 1. Esta é uma abertura que só poderia ser diagnosticada com análise de corpo de prova e análise do fck, comparando-o ao definido pelo projetista estrutural. Quanto a rotação do elemento é difícil a verificação visual, necessitando muitas vezes de sensores eletrônicos.

É importante salientar que estas movimentações podem causar danos a impermeabilização da fachada e abertura suficiente para a entrada de água.

Estas trincas são muitas vezes caracterizadas como dilatação térmica, mas prognóstico não qualificado corretamente.

Caso tenha-se a comprovação do laboratório quanto ao fck, o diagnóstico apresentado deve possuir como descrição a origem do material concreto e sua variação de resistência, o mecanismo é a alteração na rigidez do material e finalmente os agentes causadores seriam ausência de controle do material.

10. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, José Milton De. **Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado**. 4 edição ed. Cidade Nova - RS: [s.n.], 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575-2:2013 - Edificações Habitacionais - Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. 2013, Rio de Janeiro, Brasil: [s.n.], 2013. p. 39.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118:2014. 2018, São Paulo-SP: [s.n.], 2018. p. 238.
- BOLINA, Fabricio Longhi et all. **PATOLOGIA DE ESTRUTURAS**. Primeira ed. São Paulo-SP: [s.n.], 2019.
- CARVALHO, Roberto C. e FIGUEIREDO FILHO, J R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 2ª. edição. 4 edição ed. São Carlos - SP: [s.n.], 2004.
- CLIMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado - Fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. Brasília - DF: [s.n.], 2005.
- GOMIDE, Tito Lívio Ferreira e NETO, Jerônimo Cabral Pereira Fagundes e GULLO, Marco Antonio. **Inspeção Predial Total - diretrizes e laudos no enfoque da qualidade total e da engenharia diagnóstica**. São Paulo-SP: [s.n.], 2011.
- IGLESIA, Socrate Munoz. O efeito P-Delta Sumário. EBERICK (Org.). . Ebook ed. Florianópolis, SC: [s.n.], 2016. p. 20.

XIII

AVALIAÇÃO PROBABILÍSTICA DO NÍVEL DE SEGURANÇA E DURABILIDADE DE ESTRUTURAS EXISTENTES EM CONCRETO ARMADO – APLICAÇÃO EM UM RESERVATÓRIO ELEVADO

PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE SAFETY LEVEL AND DURABILITY OF EXISTING STRUCTURES IN REINFORCED CONCRETE – APPLYING TO A WATER TOWER

Naiara Guimarães de Oliveira Porto

Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil
Coimbra, Portugal
naiarag.porto@gmail.com
<http://lattes.cnpq.br/6135239439660296>

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Brasília – DF, Brasil
joaocpantoja@gmail.com
<http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>

Hugo Rodrigues Pinheiro

Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil
Aveiro, Portugal
hrodrigues@ua.pt

Resumo: A dificuldade em associar análises e cálculos ao desempenho efetivo de estruturas existentes expressa a carência de metodologias que consigam demonstrar, quantitativamente, o real comportamento destas estruturas e seus componentes. Sendo assim, o presente trabalho apresenta uma metodologia probabilística que associa confiabilidade à processos de inspeção e avaliação de estruturas existentes em concreto armado. A avaliação estrutural é baseada no estudo dos danos de cada elemento da estrutura, que são observados por meio de inspeções visuais, com registros das patologias e condições de uso, e ensaios in situ e/ou em laboratórios. A metodologia proposta permite que sejam analisados os níveis de criticidade dos danos, como modelo de integridade de deterioração da estrutura, acoplado aos seus níveis de segurança, por meio de confiabilidade. Como resultado, tem-se um diagnóstico dos processos de degradação presentes e o nível de segurança da estrutura e seus componentes, de forma a entender e prever possíveis comportamentos do sistema. Para exemplificar o que está sendo apresentado, será utilizado um reservatório em concreto armado.

Palavras-chave: estruturas existentes, durabilidade, concreto armado, confiabilidade

Abstract: The difficulty in associating analysis and calculations with the effective performance of existing structures expresses the lack of methodologies that demonstrate, quantitatively, the real behavior of these structures and their elements. Therefore, the present paper introduces a probabilistic methodology that associates reliability with inspection processes and assessment of existing structures in reinforced concrete. The structural assessment is based on

damages study of each structure element, which are observed by visual inspections with records of the pathologies and conditions of use, and in situ or laboratory tests. The methodology suggested allows analysis of the critical damage levels, as an integrity model of the structure deterioration and its elements, linked to their safety levels by reliability. The result is a diagnosis of the degradation processes and the structure safety level and its elements, in a way of understanding and preventing possible behaviors of the system. As an example of what is being presented, a reinforced concrete water tower will be used.

Keyword: existing structures, reinforced concrete, durability, pathologies, reliability

1 INTRODUÇÃO

O estudo de estruturas existentes requer análises distintas de um processo de dimensionamento de uma nova estrutura, no qual permite a escolha de um sistema estrutural adequado às necessidades de projeto e em conformidade aos materiais escolhidos. Já em estruturas existentes verificam-se novas necessidades da estrutura, decorrentes do seu uso, processos de degradação e, até mesmo, de erros provenientes de projetos e/ou execução. De fato, todas as estruturas irão se deteriorar ao longo do tempo, podendo apresentar modificações em seu desempenho, na aparência da estrutura e no seu funcionamento em serviço, mesmo sob condições usuais (*fib* Bulletin 62, 2010).

Para garantir a segurança na reabilitação de uma estrutura existente é essencial o conhecimento a cerca da sua estrutura e seus elementos, além da revisão de informações sobre sua utilização. Ainda sim, persistem-se as dificuldades na intervenção destas estruturas, em virtude da complexidade das ações que devem ser tomadas em um ambiente já construído, em que grande parte das vezes não há documentação e/ou regulamentação sobre o assunto.

Nesse contexto, empresas e profissionais estão cada vez mais interessados em novas soluções e tecnologias que assegurem a segurança da estrutura, juntamente com sua durabilidade, de maneira a reduzir as intervenções e os custos relacionados. Entendendo essas necessidades, metodologias e procedimentos são utilizados para auxiliar o profissional no diagnóstico e na reabilitação das estruturas existentes. Entretanto, ainda existe o obstáculo do julgamento técnico da capacidade dessas metodologias, devido ao grande número de parâmetros a serem considerados.

É então proposta uma metodologia de avaliação probabilística, que acople

parâmetros de confiabilidade à segurança estrutural das estruturas existentes em concreto armado. A metodologia em questão alcança os resultados dos níveis críticos de segurança da estrutura e seus elementos por meio dos graus de deterioração identificados, em que as análises são feitas com base em inspeções e um programa de análise estrutural.

Inicialmente será feita a parametrização da metodologia Gde/UnB, proposta por Castro (1994), de forma a viabilizar o seu acoplamento aos índices de confiabilidade. Logo, é realizável uma análise linear baseada na influência do processo de deterioração da estrutura, obtendo-se a redução do seu nível de segurança estrutural.

Um exemplo de um reservatório elevado em concreto armado é descrito e detalhado de forma a mostrar a capacidade e as limitações da metodologia. De forma geral, a metodologia proposta facilita a tomada de decisão do profissional em um processo de avaliação e reabilitação estrutural.

2 AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES

O estudo e análise de estruturas existentes engloba o entendimento e as implicações que a deterioração causa nos níveis de segurança da estrutura, traduzindo-se em um processo complexo em busca da estabilidade estrutural. É importante salientar que a durabilidade da estrutura está ligada não somente às suas características e aos materiais que a compõe, mas também à sua interação com o ambiente. Por via de regra, quase todos os mecanismos de deterioração ocorrem com o decorrer do tempo (*fib* Bulletin 213/214, 1993). Um modelo básico de duas etapas, fase de iniciação e fase de propagação, aplica-se ao processo de deterioração de uma estrutura, de acordo com a Figura 1.

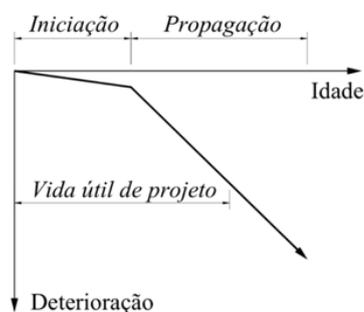


Figura 1. Modelo de deterioração [3]

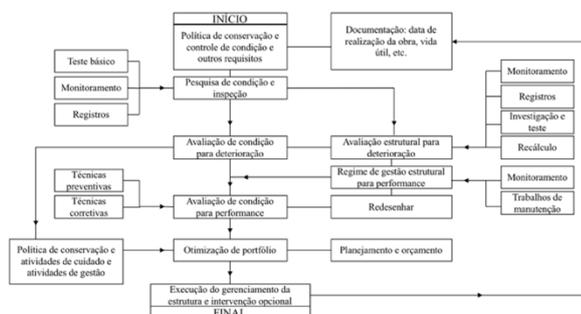


Figura 2. Principais atividades envolvidas em avaliação de estruturas existentes [1]

A fase de iniciação representa o princípio da perda das barreiras de proteção da estrutura, causada pelo ambiente, mas ainda sem sinais visíveis de deterioração ou redução da sua resistência e/ou dos seus materiais. Já na fase de propagação ocorre a rápida progressão da deterioração, podendo ser notada por sinais externos. De forma análoga a este modelo de deterioração está o modelo de Tuutti (1982), que será mencionado posteriormente e é aplicável à corrosão das armaduras do concreto armado.

Estendendo-se para o processo de reabilitação, decorre que a intervenção tem o seu objetivo fundado na existência de anomalias na estrutura, em que a preservação da infraestrutura e o aumento da vida útil são essenciais. Como o foco deste trabalho é uma estrutura existente de um reservatório elevado de água, é importante compreender que o processo de reabilitação deste tipo de estrutura interfere diretamente na vida das pessoas, requerendo, além de um projeto que satisfaça os requisitos estruturais e de durabilidade, uma elaboração de um plano de intervenção que consiga encontrar meios e recursos eficientes e com custos reduzidos.

A Figura 2 traz uma série de atividades e procedimentos para avaliação de estruturas existentes, que associados às metodologias capazes de quantificar processos de deterioração, possibilitam projetar estruturas com vida útil mais realista. Modelos para análise de durabilidade da estrutura, com sistemas de classificação estrutural que utilizem parâmetros e pesos nos fatores que geram a perda do desempenho da estrutura (fib Bulletin 243, 1998; Chew et. al, 2004; Flourentzou et. al, 1999) têm sido propostos nos últimos anos. Porém, o uso desses modelos em casos práticos ainda é deficiente.

Isto posto, é fundamental que exista a interação entre o estudo dos fenômenos de degradação e a avaliação da resistência estrutural em formulações claras e acessíveis. Optou-se, então, pelo uso da metodologia Gde/UnB (Castro, 1994), com as modificações apresentadas a seguir, para a avaliação do grau de deterioração e de integridade dos elementos estruturais de uma estrutura existente. Trazendo, de forma simplificada, a possibilidade de acoplamento a softwares estruturais.

3 METODOLOGIA GDE/UNB

Sabe-se que todas edificações em concreto armado vão sofrer deteriorações

ao longo do tempo. Porém, a falta, ou ausência, de um programa de manutenção preventiva se tornou um dos principais fatores para a manifestação de danos nas estruturas, desencadeando à profissionais a incumbência de investigação dos conceitos de durabilidade e vida útil. Estes conceitos estão diretamente ligados aos efeitos e custos de reparos, e seu estudo possibilita a descoberta prematura de eventuais problemas estruturais. A parametrização relativa à manutenção estrutural, porém, ainda está caminhando para ter a mesma atenção das normas de projetos e execução, que têm como base a durabilidade das estruturas.

Para auxiliar no estudo de estruturas existentes e na manutenção de estruturas de concreto armado, a metodologia para avaliação da durabilidade de concreto armado Gde/UnB (Castro, 1994), parametrizada, foi escolhida. O seu objetivo é avaliar, quantitativamente, o grau de deterioração de elementos isolados e da estrutura como um todo, fundamentando-se em parâmetros que considerem as manifestações de danos mais frequentes, sua evolução e a influência do meio ambiente em que se encontra a estrutura.

A metodologia tem como base um programa de inspeções sistemáticas que consiga identificar a necessidade, o momento correto e a extensão da intervenção em uma estrutura, sendo que as inspeções devem considerar aspectos de segurança, funcionalidade e estética, estando estes atrelados às condições ambientais e ao tempo de utilização. Inicialmente são realizadas as inspeções periódicas nas estruturas de concreto armado, por um profissional da área com informações básicas sobre a estrutura, seguido de um esquema apresentado no fluxograma da Figura 3 e baseando em um caderno de inspeção* com informações básicas sobre a estrutura e diversas matrizes que reúnem os dados necessários do fluxograma.

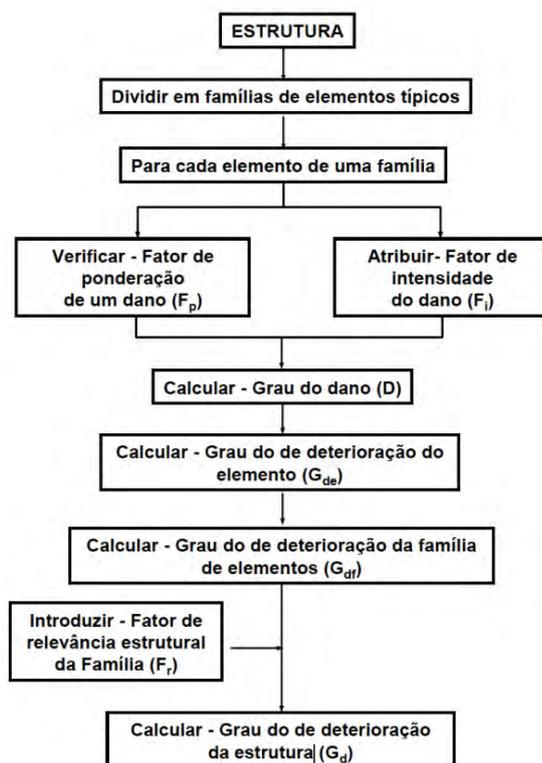


Figura 3. Fluxograma da metodologia para o cálculo de grau de deterioração da estrutura

4 METODOLOGIA GDE/UNB PARAMETRIZADA

De forma a auxiliar o estudo de estruturas existentes, bem como a manutenção de estruturas de concreto armado, optou-se pelo uso da metodologia Gde/Unb parametrizada. O propósito é a quantificação do grau de deterioração da estrutura e de seus elementos de forma isolados, baseando-se em parâmetros de manifestação e evolução de danos, pela ação do ambiente em que a estrutura está inserida.

De acordo com Pantoja (et. al, 2018), para fazer a adequação das variáveis existentes, é preciso realizar um processo de parametrização no qual seja possível adotar diferentes escalas juntamente com outros tipos de avaliações. As modificações a serem feitas para a avaliação do grau de deterioração serão descritas a seguir e tem como intuito chegar à integridade dos elementos estruturais. Ressalta-se que as escalas de valores propostos pelo trabalho original são mantidas, uma vez que representam a contribuição dos autores sobre os fenômenos atuantes no processo de deterioração da estrutura. A Tabela 1 apresenta os valores, referentes ao exemplo que será abordado no item 6, dos fatores da metodologia Gde/Unb parametrizados.

Tabela 1. Parametrização dos fatores da metodologia Gde/UnB. (Fonte: gerado pela autora)

Fator de Ponderação (Fp)				Fator de Intensidade	
Tipo de degradação	Pilar	Parede	Laje	Gravidade	Fi
Lixiviação	0,5	0,7	0,7	Sem lesões	0
Esfoliação	0,8	1	1	Lesões leves	0,25
Desagregação	0,7	0,7	0,7	Lesões toleráveis	0,5
Cobrimento Deficiente	0,6	0,7	0,7	lesões graves	0,75
Manchas de Corrosão	0,7	0,9	0,9	Lesões intoleráveis	1
Fissuras	1	1	1		
Carbonatação	0,7	0,7	0,7		
Vazamento	1	1	1		
Impermeabilização Danificada	0,8	0,8	0,8		

Fator de Relevância Estrutural			
Tipo de Classe	F_R	Tipo de Família	F_R
Pilares	0,33	Nível 1	0,143
Laje inferior do reservatório	0,27	Nível 2	0,143
Paredes	0,2	Nível 3	0,143
Lajes	0,13
Tampa do reservatório	0,07	Nível 7	0,143

$\sum F_{Ri} = 1$

Para transformação do grau de dano (D) em fatores de integridade e para conectar a metodologia aos valores dos índices de confiabilidade nas estruturas existentes, é necessária uma parametrização no modelo de Tuutti (1982), de acordo com a Figura 4.

Assim temos,

$$Integr = [1 - D(F_i, F_p)] \tag{1}$$

Essa transformação é necessária para ser utilizada como ponderadora da resistência junto à matriz de rigidez dos elementos. Para consideração dos fatores de integridade de cada elemento de uma mesma classe, considera-se uma média direta de todos os danos presentes no elemento, diferentemente da versão original. Sendo assim, apenas valores de $D(F_i, F_p)$ maiores que 0,2 serão contabilizados. Isso visa evitar disfarçar valores superiores na presença de outros menores. Para uma classe/família de elementos deve-se também determinar uma média dos valores. Finalmente, para os valores de integridade da estrutura completa, deverão ser definidos pesos para as classes e famílias, de acordo com sua importância estrutural.

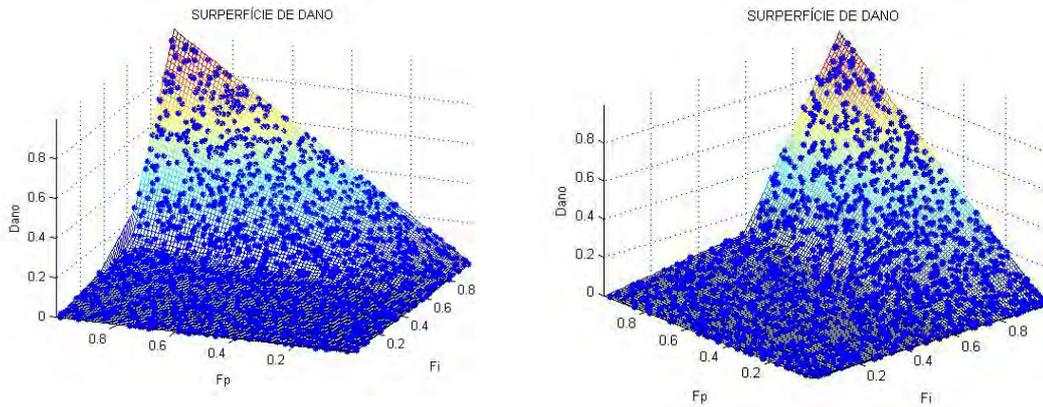


Figura 4. Superfície de dano com base no modelo de Tuutti (Fonte: gerado pela autora)

5 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SEGURANÇA VIA CONFIABILIDADE

O acoplamento do nível de segurança é feito de forma simples, seguindo a hipótese de que a variação do índice de confiabilidade dos elementos, classes, famílias e da estrutura segue a mesma ordem de comportamento que o fator de integridade.

$$\beta \approx \text{Integridade}(F_i, F_p) \cdot \varphi \quad (2)$$

Os valores mínimo e máximo de φ , que representa o nível de confiabilidade dos elementos, seguem os valores de referência para estruturas existentes, presentes na Tabela 2.

Tabela 2. Índices de confiabilidade de referência [1]

Classe de consequência	Período Mínimo de referência para estruturas existentes	β Nova		β Reparada		β Existente	
		WN	WD	WN	WD	WN	WD
CCO	1 ano	3.3	2.3	2.8	1.8	1.8	0.8
CC1 - Baixa	15 anos	3.3	2.3	2.8	1.8	1.8	1.1
CC2 - Média	15 anos	3.8	2.8	3.3	2.5	2.5	2.5
CC3 - Alta	15 anos	4.3	3.3	3.8	3.3	2.5	3.3

Classes de 0 a 1 (CCO e CC1) - aplicadas apenas em situações onde não houver dano humano envolvido

WN - Forças devido ao vento não são dominantes

WD - Forças devido ao vento são dominantes

De forma que:

$$P(C/I) = \frac{P(C \cap I)}{P(I)} \quad (3)$$

O agrupamento do índice de confiabilidade de cada família, para a obtenção do índice de confiabilidade estrutural, segue a regra de probabilidade condicionada.

6 APLICAÇÃO EM UM EXEMPLO

Neste trabalho será realizada a análise e aplicação da metodologia, apresentada anteriormente, em um reservatório elevado de água (Figura 5), com a finalidade de encontrar o nível de criticidade que a estrutura e seus elementos se encontram e, por último, realizar uma análise linear da estrutura.



Figura 5. Fotografia do reservatório elevado de água

A divisão do reservatório foi feita em famílias, classes e elementos, em que as famílias se subdividem nos níveis do reservatório, como mostra a Figura 6.

As patologias identificadas na estrutura, por meio de vistoria e ensaios, encontram-se resumidas na Tabela 3.

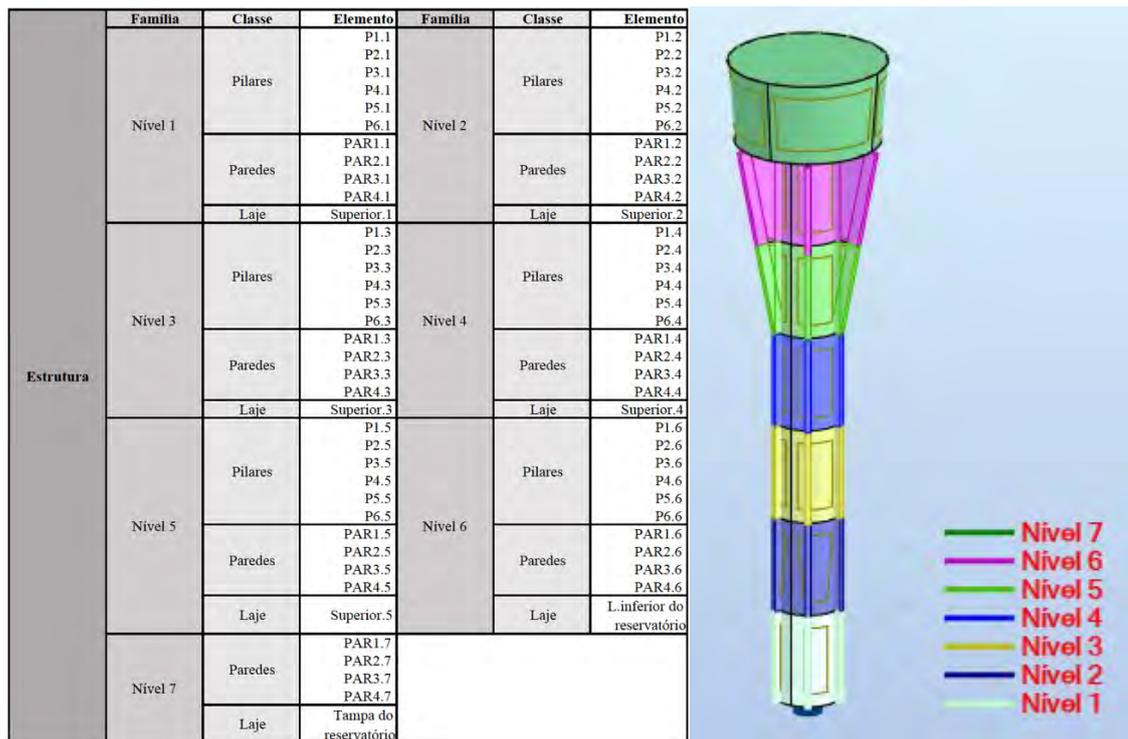


Figura 6. Divisão da estrutura e de seus níveis com modelagem feita no programa Robot Structural Analysis. (Fonte: Gerado pela autora)

Tabela 3. Resumo das patologias presentes no reservatório (Fonte: gerado pela autora)

NÍVEL	PATOLOGIAS	CAUSAS	CONSEQUÊNCIAS
1	Armadura exposta	Carbonatação Penetração de cloretos Lixiviação Fissuras Falta de manutenção Contato das peças com água da chuva	Corrosão das armaduras de concreto armado (dano estrutural)
	Destacamento do recobrimento		
2	Armadura exposta		
	Destacamento do recobrimento		
3	Armadura exposta		
4	Armadura exposta		
5	Armadura exposta		
6	Armadura exposta		
	Destacamento do recobrimento		
	Concreto degradado		
7	Perda de Estanqueidade	Falta de manutenção Porosidade do concreto Fendas nas juntas de betonagem Fissuras	Dano estrutural e não estrutural

6.1 Uso da metodologia GdE/UnB parametrizada no exemplo

A partir da metodologia Gde/UnB parametrizada, os valores base estão presentes na Tabela 1, e análise das patologias do reservatório apresentado foram definidos os seguintes Fatores de Ponderação e de Intensidade:

Tabela 4. Fatores de Ponderação e Intensidade de cada elemento da estrutura. (Fonte: gerado pela autora)

Família	Classe	Elemento	Lixiviação		Esfoliação		Desagregação		Cobrimento deficiente		Manchas de Corrosão		Fissuras		Carbonatação		Vazamento		Impermeabilização danificada		
			Fp	Fi	Fp	Fi	Fp	Fi	Fp	Fi	Fp	Fi	Fp	Fi	Fp	Fi	Fp	Fi	Fp	Fi	
Nivel 1	Pilares	P1.1	-	-	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	
		P2.1	-	-	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	
		P3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		P4.1	-	-	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	
		P5.1	-	-	0,8	0,75	0,7	0,5	0,6	0,75	0,7	0,5	1	0,75	0,7	0,75	-	-	-	-	
	P6.1	-	-	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-		
	Paredes	PAR1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PAR2.1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PAR3.1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PAR4.1		-	-	1	0,5	0,7	0,25	0,7	0,5	0,9	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-		
Lajes	Superior.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Nivel 2	Pilares	P1.2	-	-	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	
		P2.2	-	-	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	
		P3.2	-	-	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	
		P4.2	-	-	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	
		P5.2	-	-	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	
	P6.2	-	-	0,8	0,75	0,7	0,5	0,6	0,75	0,7	0,5	1	0,75	0,7	0,75	-	-	-	-		
	Paredes	PAR1.2	-	-	1	0,5	0,7	0,25	0,7	0,5	0,9	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	
PAR2.2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PAR3.2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PAR4.2		-	-	1	0,5	0,7	0,25	0,7	0,5	0,9	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-		
Lajes	Superior.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Nivel 3	Pilares	P1.3	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		P2.3	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		P3.3	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		P4.3	-	-	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,5	1	0,5	0,7	0,5	-	-	
		P5.3	-	-	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,5	1	0,5	0,7	0,5	-	-	
	P6.3	-	-	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,5	1	0,5	0,7	0,5	-	-		
	Paredes	PAR1.3	-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PAR2.3		-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
PAR3.3		-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
PAR4.3		-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Lajes	Superior.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Nivel 4	Pilares	P1.4	-	-	0,5	0,25	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-		
		P2.4	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		P3.4	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		P4.4	-	-	0,5	0,25	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-		
		P5.4	-	-	0,5	0,25	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-		
	P6.4	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Paredes	PAR1.4	-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PAR2.4		-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
PAR3.4		-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
PAR4.4		-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Lajes	Superior.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Nivel 5	Pilares	P1.5	-	-	0,5	0,25	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-		
		P2.5	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		P3.5	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		P4.5	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		P5.5	-	-	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-		
	P6.5	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Paredes	PAR1.5	-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PAR2.5		-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
PAR3.5		-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
PAR4.5		-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Lajes	Superior.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Nivel 6	Pilares	P1.6	-	-	0,5	0,5	0,8	0,75	0,7	0,75	0,6	0,75	0,7	0,5	1	0,5	0,7	0,75	1		
		P2.6	-	-	0,5	0,5	0,8	0,75	0,7	0,5	0,6	0,75	0,7	0,5	1	0,5	0,7	0,75	1		
		P3.6	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		P4.6	-	-	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,25	0,7	0,25	-		
		P5.6	-	-	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,25	0,7	0,25	-		
	P6.6	-	-	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7	0,25	0,6	0,5	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	-			
	Paredes	PAR1.6	-	-	0,7	0,5	1	0,5	0,7	0,75	0,7	0,5	0,9	0,5	1	0,5	0,7	0,25	1		
PAR2.6		-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,5	0,7	0,25	1			
PAR3.6		-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
PAR4.6		-	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Lajes	Inferior do reservatório	-	-	0,7	0,5	1	0,5	0,7	0,75	0,7	0,5	0,9	0,75	1	0,5	0,7	0,75	1			
Nivel 7	Paredes	PAR1.7	-	-	0,7	0,75	1	0,5	0,7	0,25	0,7	0,25	0,9	0,75	1	0,25	0,7	0,5	1		
		PAR2.7	-	-	0,7	0,75	1	0,5	0,7	0,25	0,7	0,25	0,9	0,75	1	0,25	0,7	0,5	1		
		PAR3.7	-	-	0,7	0,75	1	0,5	0,7	0,25	0,7	0,25	0,9	0,75	1	0,25	0,7	0,5	1		
		PAR4.7	-	-	0,7	0,75	1	0,5	0,7	0,25	0,7	0,25	0,9	0,75	1	0,25	0,7	0,5	1		
Lajes	Tampa do reservatório	-	-	0,7	0,25	1	0,5	0,7	0,5	0,7	0,75	0,9	0,75	1	0,75	0,7	0,75	-			

Por estes fatores foram calculados os valores dos graus de deterioração de cada elemento (Gde) e, conseqüentemente, das classes (Gdc), das famílias (Gdf) e da estrutura (Gd).

Para o cálculo do grau de deterioração das classes e famílias foram utilizados os fatores de relevância presentes na tabela 1, sendo que estes foram ponderados para que cada classe e família tenha a soma dos seus respectivos

elementos e classes igual à 1.

Para o cálculo do grau de deterioração da estrutura foram consideradas todas as famílias com a mesma importância.

Dessa forma, os resultados obtidos estão expressos na Tabela 5 com a respectiva correspondência ao seu nível de deterioração, em que os valores de referência são apresentados na Tabela 6.

Tabela 5. Valores obtidos a partir da metodologia Gde/UnB, parametrizada (Fonte: gerado pela autora)

Família	Classe	Elemento	Gde	Gdc	Gdf	Gd	
Estrutura	Nível 1	Pilares	P1.1	0,13 Leve	0,11 Leve	0,06 Leve	0,18 Baixo
			P2.1	0,13 Leve			
			P3.1	0 Leve			
			P4.1	0,13 Leve			
			P5.1	0,64 Alto			
			P6.1	0,13 Leve			
	Nível 2	Pilares	PAR1.1	0 Leve	0,07 Leve	0,13 Leve	
			PAR2.1	0 Leve			
			PAR3.1	0 Leve			
			PAR4.1	0,14 Leve			
			Lajes Superior.1	0 Leve			
			Lajes Superior.2	0 Leve			
	Nível 3	Pilares	P1.2	0,13 Leve	0,07 Leve	0,04 Leve	
			P2.2	0,13 Leve			
			P3.2	0,13 Leve			
			P4.2	0,13 Leve			
			P5.2	0,13 Leve			
			P6.2	0,64 Alto			
	Nível 4	Pilares	PAR1.2	0,14 Leve	0 Leve	0,03 Leve	
			PAR2.2	0 Leve			
			PAR3.2	0 Leve			
PAR4.2			0,14 Leve				
Lajes Superior.2			0 Leve				
Lajes Superior.3			0 Leve				
Nível 5	Pilares	P1.3	0 Leve	0,02 Leve	0,01 Leve		
		P2.3	0 Leve				
		P3.3	0 Leve				
		P4.3	0,14 Leve				
		P5.3	0,14 Leve				
		P6.3	0,14 Leve				
Nível 6	Pilares	PAR1.3	0 Leve	0 Leve	0,39 Médio		
		PAR2.3	0 Leve				
		PAR3.3	0 Leve				
		PAR4.3	0 Leve				
		Lajes Superior.3	0 Leve				
		Lajes Superior.4	0 Leve				
Nível 7	Pilares	P1.4	0,13 Leve	0,24 Baixo	0,62 Alto		
		P2.4	0 Leve				
		P3.4	0 Leve				
		P4.4	0,13 Leve				
		P5.4	0,13 Leve				
		P6.4	0 Leve				
Nível 8	Pilares	PAR1.4	0 Leve	0,6 Alto	0,66 Alto		
		PAR2.4	0 Leve				
		PAR3.4	0 Leve				
		PAR4.4	0 Leve				
		Lajes Superior.4	0 Leve				
		Lajes Superior.5	0 Leve				
Nível 9	Pilares	P1.5	0,13 Leve	0,28 Baixo	0,62 Alto		
		P2.5	0 Leve				
		P3.5	0 Leve				
		P4.5	0 Leve				
		P5.5	0,13 Leve				
		P6.5	0 Leve				
Nível 10	Pilares	PAR1.5	0 Leve	0,6 Alto	0,66 Alto		
		PAR2.5	0 Leve				
		PAR3.5	0 Leve				
		PAR4.5	0 Leve				
		Lajes Superior.5	0 Leve				
		Lajes Superior.6	0 Leve				
Nível 11	Pilares	P1.6	0,51 Médio	0,64 Alto	0,66 Alto		
		P2.6	0,6 Alto				
		P3.6	0 Leve				
		P4.6	0,11 Leve				
		P5.6	0,11 Leve				
		P6.6	0,13 Leve				
Nível 12	Pilares	PAR1.6	0,57 Alto	0,6 Alto	0,66 Alto		
		PAR2.6	0,56 Alto				
		PAR3.6	0 Leve				
		PAR4.6	0 Leve				
		Laje Inferior do Reservatório	0,64 Alto				
		Laje Inferior do Reservatório	0,64 Alto				
Nível 13	Pilares	PAR1.7	0,6 Alto	0,6 Alto	0,62 Alto		
		PAR2.7	0,6 Alto				
		PAR3.7	0,6 Alto				
		PAR4.7	0,6 Alto				
		Tampa do Reservatório	0,66 Alto				
		Tampa do Reservatório	0,66 Alto				

Tabela 6. Valores de referência para o nível de deterioração (Fonte: Pantoja et.al, 2018)

Nível de deterioração	Grau do dano
Leve	$\leq 0,15$
Baixo	$0,15 < Gd \leq 0,35$
Médio	$0,35 < Gd \leq 0,55$
Alto	$0,55 < Gd \leq 0,75$
Crítico	$0,75 < Gd \leq 1$

Observa-se, portanto, que a maioria dos elementos possui um nível de deterioração leve. Porém, há pontos mais críticos nos pilares, paredes e lajes dos níveis 6 e 7, locais estes de ocorrência da perda de estanqueidade do reservatório, evidenciando o aparecimento e intensificação de outras patologias.

O resultado do grau de deterioração da estrutura ($Gd = 0,18$) indica que há menos de 20% de comprometimento da mesma. Ou seja, de maneira geral a estrutura se apresenta em bom estado, havendo apenas alguns pontos específicos com maiores danos.

6.2 Análise linear

Será utilizado o programa Robot Análise Estrutural como ferramenta para análise linear do reservatório apresentado, seguindo as normas do Eurocódigo 2 [9], [10].

Para a avaliação de segurança da estrutura serão utilizados os seguintes valores das ações como referência na análise linear:

- 1: Peso próprio (PP) – gerado pelo próprio programa, para concreto C16/20;
- 2: Sobrecarga (SB) – para terraços acessíveis (uniformemente distribuída de $1,0 \text{ KN/m}^2$);
- 3: Impulso Hidrostático (IMP) – foi considerado a água na totalidade da altura para a determinação dos esforços nas paredes e soleira ($855,48 \text{ KN/m}^2$);
- 4: Simulação do vento X + 20m/s;
- 5: Simulação do vento X + Y + 20m/s;
- 6: Simulação do vento Y + 20m/s;
- 7: Simulação do vento X - Y + 20m/s;
- 8: Simulação do vento X - 20m/s;
- 9: Simulação do vento X - Y - 20m/s;
- 10: Simulação do vento Y - 20m/s;

11: Simulação do vento X + Y - 20m/s.

A simulação do vento foi gerada automaticamente pelo programa, assim como as combinações das ações para o cálculo dos estados limites últimos e de serviço.

O fator de integridade, calculado pela parametrização da metodologia Gde/UnB, será utilizado como ponderador da resistência do concreto e do aço. Seu resultado é utilizado na matriz de rigidez da estrutura, a fim de se chegar à um comparativo da estrutura íntegra com a estrutura deteriorada. Isto significa que, na estrutura íntegra foi utilizado um concreto C16/20 – com módulo de elasticidade igual à 29GPa – e na estrutura deteriorada o módulo de elasticidade de cada elemento foi multiplicado pelo seu respectivo valor do fator de integridade, presente na Tabela 7.

Tabela 7. Fatores de integridade das classes, famílias e da estrutura (Fonte: gerado pela autora)

	Nível 1	Nível 2	Nível 6	Nível 7
Integr Pilares	0,66	0,66	0,68	
Integr Laje Reservatório Inferior			0,64	
Integr Paredes			0,62	0,62
Integr Tampa do Reservatório				0,64
Integr das Famílias (usando fator de relevância das classes)	0,66	0,66	0,65	0,63
Integr da Estrutura (usando fator de relevância das famílias)	0,65			

O fator de integridade pode ser acoplado, de forma direta, ao índice de confiabilidade. Com o resultado da Tabela 7, em que o fator de integridade da estrutura é igual à 0,65, temos que, uma vez que o fator de integridade varia de 0 a 1 e o índice de confiabilidade varia de 0 a 4, obtêm-se um índice de confiabilidade igual à 2,6. Dessa forma, utilizando a Tabela 2 como referência para o índice de confiabilidade, diz-se que o resultado aqui obtido representa um bom nível de segurança da estrutura.

6.3 Comparação da estrutura íntegra com a estrutura deteriorada

Na tabela 8 está a comparação numérica dos valores dos esforços atuantes na estrutura íntegra e deteriorada. Estes valores são referentes aos extremos globais da estrutura, obtidos diretamente pelo programa Robot Structural Analysis.

Tabela 8. Extremos globais dos esforços atuantes na estrutura (Fonte: gerado pela autora)

Estrutura Íntegra						
	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kNm)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MÁX	942,58	12,41	54,21	2,68	30,86	18,31
Barra	48	31	6	18	9	21
Nó	43	27	6	16	9	18
Caso	65 (C)	66 (C)	67 (C)	64 (C)	64 (C)	66 (C)
MÍN	-1978,02	-12,28	-52,35	-2,62	-27,41	-18,54
Barra	9	21	51	28	5	31
Nó	9	18	45	25	6	27
Caso	64 (C)	66 (C)	18 (C)	60 (C)	66 (C)	66 (C)

Estrutura Deteriorada						
	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kNm)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MÁX	943,72	13,59	69,19	2,79	29,12	19,88
Barra	48	31	6	18	9	21
Nó	43	27	6	16	9	18
Caso	65 (C)	66 (C)	67 (C)	64 (C)	64 (C)	66 (C)
MÍN	-1929,18	-13,41	-57,72	-2,74	-34,33	-20,17
Barra	9	21	5	28	5	31
Nó	9	18	6	25	6	27
Caso	64 (C)	66 (C)	62 (C)	60 (C)	67 (C)	66 (C)

De forma geral, a estrutura deteriorada apresenta um pequeno aumento nos valores dos esforços atuantes máximos e mínimos. Apenas a força mínima atuante em X e o momento máximo atuante em Y, apresentam um pequeno decréscimo em seus valores. Isto pode acontecer pela redistribuição de esforços que ocorre na estrutura, podendo notar-se também, pela mudança nos nós, nas barras e nos casos que apresentam as forças mínimas em Z.

Para efeito de comparação e análise a seguir, será utilizado o caso de estado limite último para a combinação de ação linear: $PP \cdot 1,35 + SB \cdot 1,50 + IM \cdot 1,50$.

Portanto, para os esforços atuantes relativo às forças normais foram obtidos os diagramas da Figura 7, em que se nota o valor mínimo em X referente a estrutura íntegra um pouco maior do que na estrutura deteriorada, refletindo o mesmo cenário dos extremos globais. Para os momentos atuantes, Figura 8, nota-se que o valor máximo em y referente à estrutura íntegra é um pouco maior do que na estrutura deteriorada, refletindo novamente o cenário dos extremos globais e das forças normais.

Estes resultados refletem que a estrutura apresenta um nível de deterioração baixo, o que pode ser confirmado pelo valor do índice de confiabilidade obtido anteriormente.

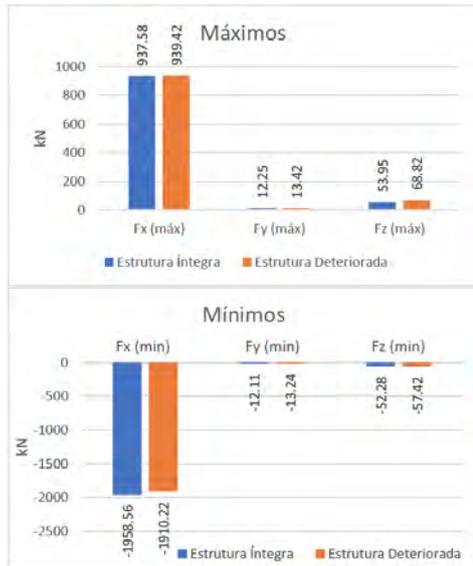


Figura 7. Diagrama das forças normais máximas e mínimas (gerado pela autora)

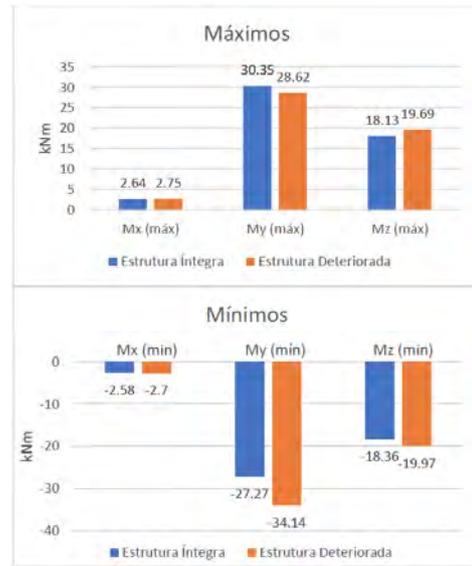


Figura 8. Diagrama dos momentos máximos e mínimos (Fonte: gerado pela autora)

De forma a mostrar, visualmente, que houve apenas pequenas mudanças nos valores referentes aos esforços normais e aos momentos da estrutura íntegra e deteriorada, seguem os mapas obtidos através do programa Robot Structural Analysis.

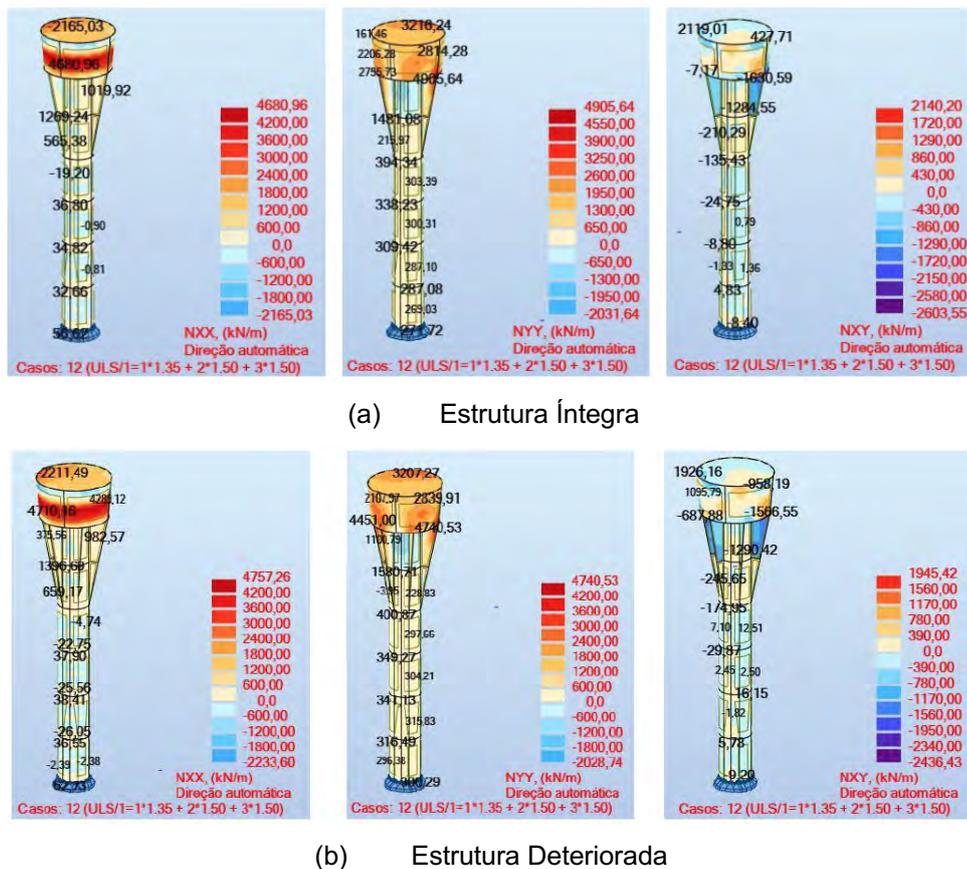


Figura 9. Mapas de forças (Fonte: gerado pela autora)

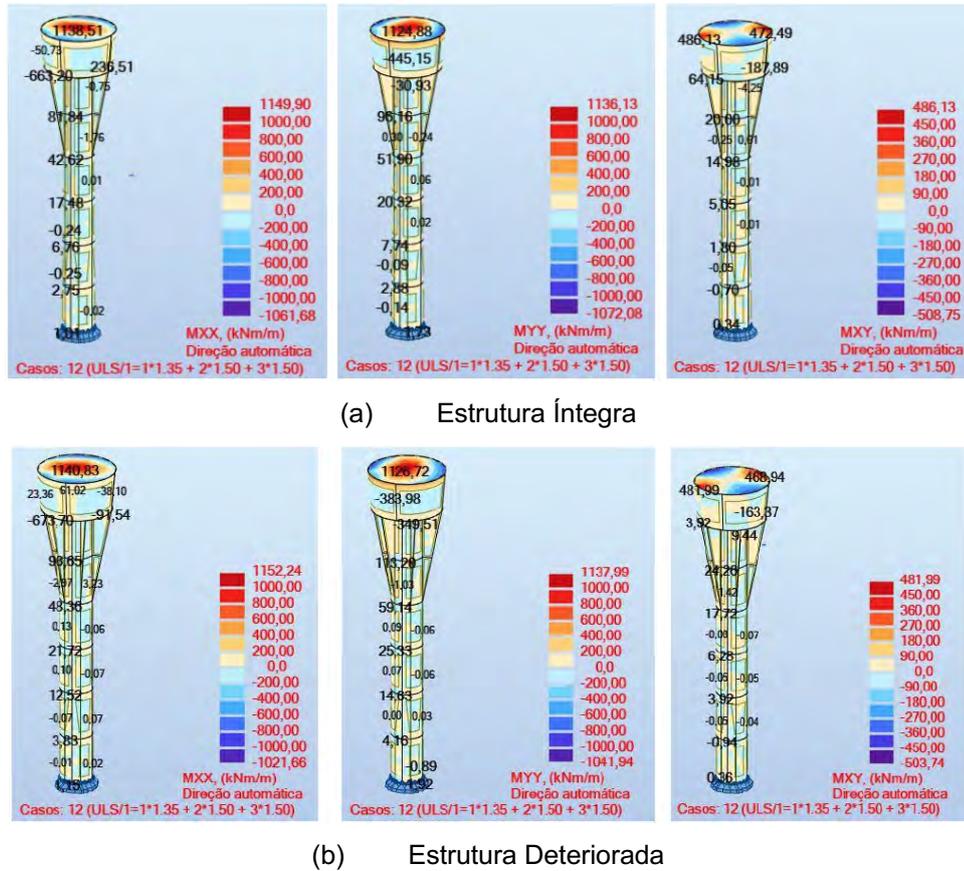


Figura 10. Mapas de momentos (Fonte: gerado pela autora)

Na deformação da estrutura, demonstrada na Figura 11, observa-se uma deformação similar para a estrutura íntegra e degradada, com um aumento no valor da deformação da estrutura degradada. Todos os resultados obtidos verificam um nível de criticidade baixo de deterioração na estrutura.

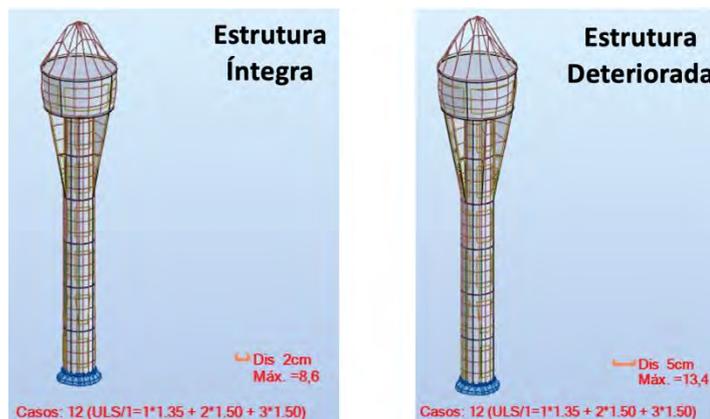


Figura 11. Mapas das deformações na estrutura

7 CONCLUSÃO

A metodologia proposta foi capaz de expressar resultados que demonstram, quantitativamente, o nível de criticidade que a estrutura e seus elementos apresentam quando deteriorados. O acoplamento direto do fator de integridade ao índice de confiabilidade, traz, de forma simplificada e com mais sentido físico, a relação do nível de segurança dos elementos, classes, famílias e da estrutura global com seus danos. É preciso, no entanto, olhar com atenção os valores muito baixos dos danos nos elementos, pois estes podem mascarar o estado em que a estrutura se encontra.

Nota-se, pela análise linear, que a estrutura não apresentou muitas diferenças de esforços e deformações, expressando a distribuição de esforços que ocorre quando há a presença de algum dano. Esta metodologia, portanto, mostra-se mais eficiente em estruturas que apresentem patologias em estados mais graves e, conseqüentemente, que apresentem um grau de deterioração da estrutura alto. Isso é um reflexo do modelo de Tuutti (1982), em que a fase de iniciação do dano é muito mais demorada do que a fase de propagação.

A metodologia proposta, porém, pode auxiliar de forma rápida e eficiente o profissional que avalia a estrutura, a fim de tornar a sua tomada de decisão, no processo de reabilitação, mais realista e de acordo com os níveis de segurança e durabilidade das estruturas de concreto armado.

Nota: o presente trabalho é derivado da tese de mestrado de Porto (2020).

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6118:2003 – **“Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos”**.
- ABNT NBR 5674:2012 – **“Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção”**.
- C. Verzenhassi C. – **“Otimização de risco estrutural baseada em confiabilidade”**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos/SP da Universidade de São Paulo, São Paulo: (2008).
- D. Coronelli. – **“Condition rating of RC structures: A case study”**. Journal of Building Appraisal, vol. 3 nº 1, (2007).
- Dir. u. Prof. Dr. W. Rücker; Dipl.-Ing. F. Hille; Dipl.-Ing. R. Rohrman – **“F08a:**

- Guideline for the assessment of existing structures**". Berlin, Germany: SAMCO. Final Report (2006).
- F. Flourentzou and E. Brandt and C. Wetzel. **"MEDIC – A method for predicting residual service life and refurbishment investment budgets"**. Energy and Buildings, 1999.
- fib* Bulletin 62, *Structural Concrete – Volume 5. Manual – Textbook on behavior, design and performance*. 2nd ed. Fédération Internationale du Béton (*fib*), Lausanne, Switzerland, 476 p, 2010.
- fib* Bulletin 213/214, **Model Code 90: Design code**. Final version published by Thomas Telford Ltd., London, 460 p, 1993.
- fib* Bulletin 243, **Strategies for testing and assessment of concrete structures: Guidance report**. Fédération Internationale du Béton (*fib*), Lausanne, Switzerland, 184 p, 1998.
- FONSECA, Régis Pamponet da. – **"A estrutura do Instituto Central de Ciências: aspectos históricos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção"**. 2007. 213 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)-Universidade de Brasília, Brasília, (2007).
- E.K. Castro. **"Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado"**. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 185 p, dezembro, 1994.
- EN 1992-1-1:2010 – **"Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings"**.
- EN 1992-3:2006 – **"Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 3: Liquid retaining and containment structures"**.
- Especificação LNEC E 464:2007 – **"Betões: Metodologia prescritiva para uma vida útil de projecto de 50 e de 100 anos face às acções ambientais"**.
- Especificação LNEC E464:2016 – **"Betões: Metodologia prescritiva para uma vida útil de projecto de 50 e de 100 anos face às acções ambientais"**.
- ISO 13822:2010 – **"Bases for design of structure – Assessment of existing structures"**.
- J. Pantoja; H. Varum; A. A. Henriques. **"Metodologia probabilística para avaliação de edificações com estrutura existente em betão armado"**. Encontro Nacional Betão Estrutural – BE2018, LNEC, 2018.

- J. Pantoja; N. Porto; M. Marques – **“Análise de patologias em estrutura mista com obtenção do nível de criticidade via Metodologia Gde/Unb adaptada”**. Artigo, XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, Porto: Cinpar (2016).
- K, Tuutti. **“Corrosion steel in concrete”**. Swedish Cement and Concrete Institute, Stockholm, 469 p, 1982.
- M. Chew Y. L. – **“The performance of concrete repair.”** J. Build. (1993).
- M.Y.L. Chew; S. S. Tan; and K. H. Kang. **“Building Maintainability – Review of State of the Art”**. Journal of Architectural Engineering, 2004.
- NP EN 1990:2009 – **“Bases para o projecto de estrutura”**.
- NP EN 206-1:2007 – **“Betão parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade”**.
- N. Porto G. O. – **“Análise paramétrica do comportamento de elementos de membrana aplicada a estruturas de concreto armado via confiabilidade estrutural”**. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas do Centro Universitário de Brasília, Brasília: (2016).
- N. Porto G. O. – **“Avaliação dos efeitos da deterioração de estruturas de betão armado no seu comportamento – Aplicação a um reservatório elevado”**. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade de Coimbra, Coimbra: (2020).
- V. Sangiorgio; J. Pantoja Costa; H. Varum – **“Structural Degradation Assessment of RC Buildings: Calibration and Comparison of Semeiotic-Based Methodology for Decision Support System”**. J. Perform. Constr. Facil. ASCE, (2019).

XIV**A CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO MODERNO ATRAVÉS DAS PRÁTICAS DE RETROFIT NA INFRAESTRUTURA URBANA DE BRASÍLIA****THE CONSERVATION OF MODERN HERITAGE THROUGH RETROFIT PRACTICES IN THE URBAN INFRASTRUCTURE OF BRASÍLIA****Stefano Galimi**

Universidade de Brasília, Programa de Pós-graduação PPG-FAU, Brasília - DF
stefanogalimi.arch@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3694-9133

Márcio Augusto Roma Buzar

Universidade de Brasília, Programa de Pós-graduação PPG-FAU, Brasília - DF
marcio.buzar@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1164-2784

Brasília

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Programa de Pós-graduação PPG-FAU, Brasília - DF
joaocpantoja@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0763-0107

Luiza Teixeira Naili

Centro Universitário de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo,
Brasília - DF
luizanaili@sempreueb.com
ORCID: 0000-0002-5692-5331

Resumo: O Retrofit urbano representa uma sólida proposta para a requalificação do ambiente construído e serve para conferir nova funcionalização à determinadas áreas carentes das cidades. Os instrumentos de preservação do patrimônio moderno, gerenciados pelo órgão do IPHAN, possuem um caráter prescritivo e não de respaldo legislativo, não explicando de qual forma devam ser executadas as práticas de restauro ou reforma de obras de arte relacionadas à infraestrutura urbana de Brasília, cidade modernista tombada. Passando por uma análise sobre as prescrições normativas e geográficas do tombamento de Brasília, o presente trabalho aborda uma análise qualitativa e comparativa acerca do Viaduto sobre a Galeria dos Estados, uma das principais artérias viárias do plano piloto, antes e depois do colapso da estrutura. Uma intervenção de Retrofit urbano interfere negativamente ou positivamente na vida da sociedade e dos usuários da infraestrutura?

Palavras-Chave: Galeria dos Estados, Retrofit, Patrimônio Cultural, Infraestrutura urbana, Brasília.

Abstract: The urban Retrofit represents a solid proposal for the requalification of the built environment and serves to re-functionalize certain deprived areas of the cities. The instruments for the preservation of modern heritage, managed by the IPHAN's management, have a prescriptive character and not of legislative support, not explaining how the practices of restoration or renovation of works of art related to the urban infrastructure of Brasília, modernist listed city. Passing through an analysis of the normative and geographic prescriptions of the overturning of Brasilia, the present work approaches a qualitative and comparative ana-

lysis about the Viaduct over the Gallery of States, one of the main road arteries of the Pilot Plan, before and after the structural collapse. Does an urban Retrofit intervention interfere negatively or positively in the life of society and infrastructure users?

Keywords: Gallery of States, Retrofit, Cultural Heritage, Urban Infrastructure, Brasilia.

1. INTRODUÇÃO

A criação da cidade de Brasília, na década de 60, foi caracterizada pela ruptura com a tradição da arquitetura. A busca de monumentalidade e eternidade na história, em contrapartida com a transitoriedade da vida, são as linhas guias e diretrizes da nova capital brasileira (GALIMI et al., 2020, p.142).



Figura 1. Brasília, vista satélite (Fonte: Google Earth)

Diante desse cenário, o patrimônio cultural brasileiro representa um ponto focal de partida para o desenvolvimento e a evolução da sociedade brasileira. As raízes ancestrais da cultura de um povo, conjuntamente ao acervo patrimonial material, são as bases estruturadoras de uma inteira nação. Nas Setes Lâmpadas da Arquitetura, texto primordial do John Ruskin, o autor trata sobre a plenitude da vida nos produtos criativos humanos e, portanto, sua autenticidade e verdade. (RUSKIN, 1921).

O mundo moderno redefiniu a ideia de autenticidade, extrapolando-a pelo processo criativo do homem que concebe a obra de arte diferentemente da sociedade tradicional (JOKILEHTO, 2006). O conceito de autenticidade, que abrange o patrimônio material e imaterial, se articulou plenamente no histórico do debate sobre conservação apenas no final do século, no Japão.

A partir da metade do século XX, o fenômeno da globalização propulsionou os administradores públicos em corroborar os laços entre países nas relações internacionais, dando vida a um fenômeno de reconhecimento de uma identidade cultural e de patrimônio.

A exigência pulsante de preservar e restaurar edifícios ou sítios históricos que sofreram danos devidos aos bombardeamentos da Segunda Guerra Mundial, se juntou ao clima de entusiasmo movido pelos arquitetos e restauradores de monumentos, alimentando novas linhas guias de restauração de edifícios históricos.

Analisando o contexto histórico da preservação, é de fundamental importância começar pela Carta de Atenas de outubro de 1931. As diretrizes que articularam a conferência, determinaram a valorização e conservação das obras históricas e artísticas do passado, por meio de intervenções regulares e permanentes.

Em consonância com os princípios gerais da Carta de Atenas, o primeiro congresso do CIAM de 1933 estabeleceu, como principal objetivo, a resolução do problema arquitetônico contemporâneo, estimulando a ideia de uma arquitetura moderna.

Portanto, neste importante período histórico, o pensamento preservacionista começou se estender também à cidade, do ponto de vista urbanístico, econômico e social.

Durante o segundo congresso de Veneza, Itália (1964), foi elaborado um documento que servirá como diretriz de desenvolvimento da prática de conservação e restauração do patrimônio: a carta de Veneza, maio de 1964. O estatuto de Veneza visava promover a conscientização sobre unidade dos valores humanos e preservar os monumentos antigos como patrimônio comum (JOKHILETO, 2006).

Esse documento exalta o conceito da autenticidade cultural em toda a sua plenitude, mas não aprofunda o que pretende abordar com esse conceito.

A grande limitação que sobressai da análise da Carta de Veneza, reside no fato de que o objeto que deve ser passível de restauração esteja restrito apenas à categoria do patrimônio monumental.

Durante os anos da finalização de Brasília, surgiu em 1972 na Itália a terceira grande carta patrimonial, a Carta do Restauo. O raciocínio sobre a conservação do patrimônio cultural e histórico foi ampliado para todas as obras de arte “de qualquer época¹”, abrangendo os monumentos arquitetônicos e os objetos referentes às artes plásticas tanto antigos quanto contemporâneos.

Como citado no começo da introdução, apenas em 1994, no Japão, o Congresso de Nara tratou sobre o conceito de autenticidade. O conceito de autenticidade é discutido sob dois diferentes olhares, um pragmático, material e outro intangível, imaterial. Relacionado ao conceito de autenticidade, em Nara foram estabelecidos novos paradigmas, que abordas aspectos como:

- diversidade cultural, como o patrimônio intelectual, são fontes insubstituíveis da riqueza intelectual da humanidade;
- as diversidades do patrimônio cultural existem no espaço e no tempo;
- todas as culturas estão enraizadas em formas e expressões tangíveis ou intangíveis que constituem o próprio patrimônio;
- a conservação do patrimônio cultural deve ser garantida em todas as suas formas, através do entendimento das fontes.

(JOKILEHTO, 2013)

Após o congresso de Nara, a UNESCO traçou as diretrizes para a preservação do patrimônio imaterial, intangível. Em 2001, foi publicada a Declaração sobre as diversidades culturais, fundamentando que a cultura se transforma ao longo do espaço e do tempo e, portanto, essa diversidade está encorpada na unicidade de cada identidade da espécie humana.

Posteriormente, durante a Declaração de Yamato de 2004, foi estabelecido que o conceito de autenticidade não pode ser aplicado ao patrimônio cultural intangível da mesma forma que o patrimônio material porque as tradições culturais são vivas e em constante mutação.

Como tem sido reivindicado em muitas cartas e documentos internacionais,

¹ Carta do Restauo. 26 de abril de 1972. Portal do IPHAN, 2020. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Restauo%201972.pdf>

tal diversidade se expressa especialmente na autenticidade e genuinidade do patrimônio, seja ele material ou imaterial.

Ressalta-se que todas as Cartas patrimoniais e os Congressos internacionais relacionados à conservação e preservação do patrimônio moderno possuem um caráter prescritivo e não de respaldo legislativo.

2. BRASÍLIA E SEU TOMBAMENTO

Brasília, erguida por Juscelino Kubitschek e idealizada por Lúcio Costa no Concurso Nacional do Plano Piloto da Nova Capital do Brasil em 1956, é Patrimônio Cultural da Humanidade pela Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO). A cidade é construída na linha do horizonte² a partir de recortes precisos e milimetricamente calculados da topografia, ao contrário da convicção geral de planície natural brasiliense (OLIVEIRA, 2017).

A delimitação da maior poligonal tombada do mundo (figura 2), ainda que este contorno não possua tanta nitidez, ocorreu em 1987 (PERPÉTUO, 2017).

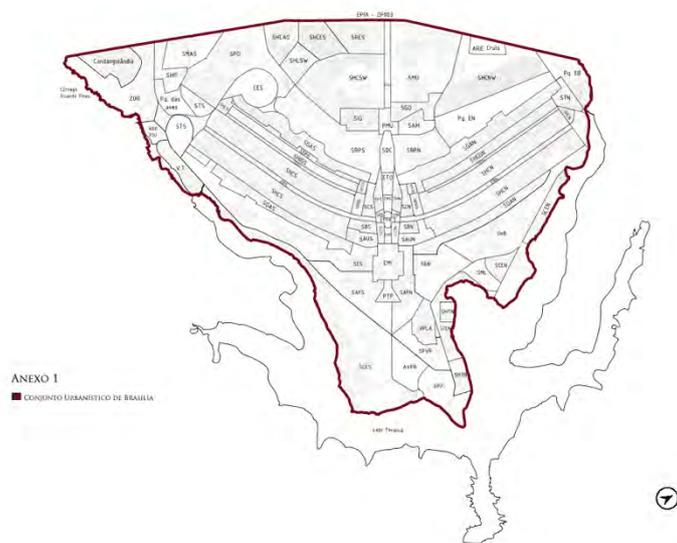


Figura 2. Poligonal de tombamento, IPHAN (Fonte: Iphan)

Brasília é o primeiro sítio moderno protegido pela UNESCO desprovido do valor de anciandade, característica de grande relevância, e até então pré-requisito, para o título de Patrimônio Mundial da Humanidade. Por Brasília ainda estar inconclusa na época, com seus vinte e sete anos, o Decreto nº 10.829 de

² Clarice Lispector, 1970.

1987, que regulamenta a preservação da concepção urbanística de Brasília, inclina-se mais para o projeto concebido em ideia do que para o sítio habitado e funcional em si (CASTRO, 2017).

O tombamento de Brasília e sua inclusão na lista de patrimônios da UNESCO ocorreram de maneira não convencional, deslocando a discussão acerca da preservação do patrimônio moderno (PERPÉTUO, 2017). A UNESCO estabelece que para que o sítio seja reconhecido internacionalmente em sua importância, deve ser previamente reconhecido e protegido em âmbito nacional, processo ainda não executado para Brasília na época. Dessa maneira, a cidade moderna se tornou Patrimônio da Humanidade antes de ser tombada em 1992³.

Os decretos, leis e documentos do período de tombamento apresentam Brasília como traçados permanentes do projeto de Lucio Costa no provável intuito de garantir sua execução fiel, ampliando, para uma cidade ainda em construção, as definições de área de preservação na busca por uma delimitação territorial (Decreto 10.829, 1987). Por meio deste mesmo decreto, compreende-se a parcela protegida como delimitada não mais pela área de preservação, mas sim por estes objetos e seu entorno⁴, caracterizando, em linhas tortuosas, a maior poligonal de tombamento.

Ficou assim restrita “a leste pela orla do Lago Paranoá, a oeste pela Estrada Parque Indústria e Abastecimento (EPIA), ao sul pelo córrego Vicente Pires e ao norte pelo córrego Bananal” (1990 apud PERPÉTUO, 2017). Tendo o processo não ocorrido dessa maneira – com delimitação de sítio difusa e composta em camadas por trechos do Decreto 10.829 e as portarias e cartas do IPHAN –, a área de patrimônio poderia ser consideravelmente menos farta.

Devido à falta de um instrumento de proteção para o Conjunto Urbanístico de Brasília (CUB), o processo de inclusão do sítio na lista da UNESCO foi condicionado ao envio de um documento que regulamentasse suas medidas mínimas de proteção (SCHLEE, 2017). Em sua obra Brasília Revisitada 1985/1987 – complementação, preservação, adensamento e expansão urbana, Lucio Costa discorre sobre o desenvolvimento da cidade de acordo com a

³ Tombamento e Intervenções. Portaria nº 314 de 8 de outubro de 1992. **Portal do IPHAN**, 2014. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/df/pagina/detalhes/618>. Acesso em 05/08/2020.

⁴ Definição dada pelo Secretário do IPHAN Ítalo Campofiorito em reunião do Conselho Consultivo sobre Brasília, em 1990.

vivência e utilização de seus moradores, destacando a necessidade de preservação da interação das escalas por ele concebidas. Diante dos imperativos do Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS), Ítalo Campofiorito, secretário do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), junto a Lucio Costa, formatou um texto, que posteriormente seria anexado ao Decreto mencionado, garantindo a conservação das escalas da cidade.

Definiu-se então, em termos vagos, a área de preservação do CUB pelas escalas que o constituem, sendo elas⁵:

1. Monumental: se estabelece ao longo do eixo principal da cidade, Eixo Monumental, que comporta a maioria das atividades administrativas e jurídicas. Estende-se da Praça dos Três Poderes, que inclui o Supremo Tribunal Federal, o Congresso Nacional e o Palácio do Planalto; aderindo a Esplanada dos Ministérios, os outros palácios, Catedral, Teatro Nacional, Torre de TV e Museu; até a Praça Monumental;
2. Residencial: compreende toda a zona residencial ao redor do Eixo Rodoviário, perpendicular ao Eixo Monumental, incluindo as superquadras, unidades de vizinhança, clubes, bibliotecas, escolas, dentre outros;
3. Gregária: um outro centro da cidade, configura-se pelo cruzamento dos dois eixos, comportando os setores (bancário, hoteleiro, comercial e de diversões);
4. Bucólica: mais extensa na orla do Lago Paranoá, permeia as outras escalas e compõe as áreas livres e arborizadas.

Os elementos urbanísticos e arquitetônicos de imensurável valor cultural e social pelos quais foi justificado o tombamento, estão em idêntico patamar a áreas que, inicialmente, não se encontravam no eixo primordial da preservação. A ausência de contraste entre os objetos inscritos no conjunto tombado, dentro de suas indefinições, delineados essencialmente pela escala que compõem, faz com que haja uma incompatibilidade na prevenção de planos de preservação específicos (PERPÉTUO, 2017).

⁵ O Plano Piloto de Brasília e Suas Escalas. **Portal do IPHAN**, 2014. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1643/>. Acesso em 01/08/2020.

Conforme apontado por André Luiz Castro, Lucio Costa argumenta sobre como a preservação de Brasília não deve privá-la de seu funcionamento e desenvolvimento enquanto organismo vivo. Em uma cidade moderna e jovem, a gestão e manutenção desse patrimônio devem ser suscetíveis a mudanças:

“...Em Brasília, mais do que garantir para o futuro as arquiteturas ou a paisagem urbana do movimento moderno do século XX procura-se garantir a perenidade dos princípios urbanísticos deste movimento em uma paisagem passível de permanente manutenção. No centro histórico do tombamento de Brasília, o presente nunca se tornará passado”.

(2017 apud PESSÔA, 2003)

Ao longo desses sessenta anos de Brasília, ocorreram diversas alterações nos decretos e portarias referentes à preservação desse bem planejado por Lucio Costa e Oscar Niemeyer. A partir de 2011, iniciou-se uma nova etapa da história da preservação da cidade: a definição da poligonal de tombamento apresentada pelo IPHAN, a delimitação da área de entorno do CUB, a assinatura do Acordo de Cooperação Técnica para a gestão da área de tombamento e a edição da Portaria nº 166 de 2016 que detalha a portaria prévia a essa.

Remanesce o sentimento de que a cidade continue sendo preservada com plausíveis adaptações oriundas de seu desenvolvimento. Que seja passível de uso, convivência e democracia. Brasília deve continuar sendo viva, ocupada, preservada e continuamente revisitada.

Portanto, ao final desses argumentos, qual é realmente o patrimônio a ser preservado e através de quais tipos de práticas?

3. O PATRIMÔNIO BRASILIENSE

Diferentemente da convicção de muitos, o tombamento de Brasília não é caracterizado por sua delimitação territorial fixa. De acordo com a Portaria nº 314 do IPHAN (1992), a área de proteção governamental é estabelecida pela composição urbanística, e não arquitetônica do espaço, incluindo suas quatro escalas já descritas.

Além do CUB, existem, dentro de sua extensão, outros bens tombados, tanto urbanísticos como arquitetônicos, a serem detalhados mais adiante.

O gerenciamento acerca do Patrimônio da Humanidade é compartilhado

por dois órgãos, quanto incumbência e autoridade. Compete ao Governo do Distrito Federal (GDF) a responsabilidade urbanística da cidade, sendo respeitadas as diretrizes normativas dispostas no Código de Edificações do DF (COE - DF), além da manutenção dos edifícios e suas reformas⁶.

Complementarmente, cabe ao IPHAN monitorar e fiscalizar as escalas urbanísticas da cidade e o patrimônio material – bens tombados (figura 3).



Figura 3. Esplanada dos Ministérios, Brasília, DF (Fonte: Marcello Casal/Agência Brasil)

Incorporado no CUB, o patrimônio material de Brasília demonstra a importância inequívoca de sua conservação pelo seu inestimado valor cultural, arquitetônico e simbólico de uma nação. A cidade modernista possui um vasto registro de bens, primordialmente classificados por temporalidade: o conjunto que antecede a construção, o que foi estabelecido ao longo de seu desenvolvimento e, finalmente, o que segue sendo consolidado, dada “a extensão da produção arquitetônica moderna” (ROCHA, 2011). O patrimônio – material – urbanístico e arquitetônico de Brasília, listado pelo IPHAN⁷ em seu

⁶ Tombamento e Intervenções. Portaria nº 314 de 8 de outubro de 1992. **Portal do IPHAN**, 2014. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/df/pagina/detalhes/618>. Acesso em 05/08/2020.

⁷ Patrimônio Material – DF. **Portal do IPHAN**, 2014. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/df/pagina/detalhes/>. Acesso em 11/08/2020.

acervo histórico, pode ser repartido em categorias que fazem parte do ambiente construído, tais quais:

1. Edifícios Culturais: Conjunto Cultural da República, Conjunto Cultural Funarte, Museu da Cidade e Casa de Chá;
2. Edifícios Governamentais: Congresso Nacional (câmara dos deputados, senado e torres administrativas) e Conjunto dos Ministérios e anexos;
3. Edifícios Religiosos: Catedral Metropolitana de Brasília e Capela Nossa Senhora de Fátima (Igrejinha);
4. Memoriais: Panteão da Liberdade e Democracia, Espaço Lucio Costa, Espaço Oscar Niemeyer, Memorial dos Povos Indígenas e Memorial JK;
5. Palácios: Justiça, Planalto, Itamaraty e anexos, Jaburu, Supremo Tribunal Federal (STF) e Conjunto da Alvorada e capela;
6. Praças e seus equipamentos: Praça dos Três Poderes e Pombal;
7. Sedes: Edifício do Touring Club do Brasil e Quartel General do Exército.

O valor cultural, social e arquitetônico das obras citadas é inestimável: palácios com traços impecáveis que comportam diversas funções governamentais, monumentos religiosos de intensa complexidade estrutural, mas de beleza escultórica, espaços que se tornam possivelmente mágicos pela sua irretocável composição.

Na lista patrimônio material, incluem-se as superquadras, elementos fundamentais para a composição da escala residencial de Lucio Costa. No âmbito urbanístico, competência do IPHAN, são mantidas e fiscalizadas as qualidades decisivas das superquadras como taxa de ocupação, quantidade de pavimentos, áreas verdes, pilotis livres, dentre outros atributos detalhados na Cartilha da Superquadra⁸.

Conforme mencionado por Elcio Silva (2012), “o pleno conhecimento dos bens é exigência principal para fundamentar quaisquer tipos de intervenções”, uma vez que o entendimento absoluto se faz não só necessário, como primário, a qualquer possibilidade de manutenção. E a infraestrutura urbana de Brasília?

⁸ Tombamento e Intervenções. Portaria nº 314 de 8 de outubro de 1992. **Portal do IPHAN**, 2014. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/df/pagina/detalhes/618>. Acesso em 05/08/2020.

4. A INFRAESTRUTURA URBANA

A implantação da infraestrutura urbana do plano piloto se articula em dois eixos principais que se cruzam em ângulo reto. Um eixo Monumental, desce para o lago Paranoá, enquanto o rodoviário, cruza a cidade inteira de norte a sul. A partir desses dois traçados principais, a cidade de Brasília se expandiu (GALIMI et al., 2020, p.142).

O que é infraestrutura urbana?

“...Infraestrutura urbana pode ser conceituada como um sistema técnico de equipamentos e serviços necessários ao desenvolvimento das funções urbanas, podendo estas funções ser vistas sob os aspectos social, econômico e institucional. Sob o aspecto social, a infraestrutura urbana visa promover adequadas condições de moradia, trabalho, saúde, educação, lazer e segurança. No que se refere ao aspecto econômico, a infraestrutura urbana deve propiciar o desenvolvimento das atividades produtivas, isto é, a produção e comercialização de bens e serviços. E sob o aspecto institucional, entende-se que a infraestrutura urbana deva propiciar os meios necessários ao desenvolvimento das atividades político-administrativas, entre os quais se inclui a gerência da própria cidade.”
(ZMITROWICZ, 1997)

A infraestrutura urbana de Brasília faz parte do conjunto urbanístico concebido pelo Lucio Costa e, portanto, para conservar as próprias características de autenticidade do patrimônio modernista, precisa ser preservada.

A importância de pontes e viadutos, é significativa para a concepção de Brasília por dois principais aspectos. O primeiro, mostra que a importância da infraestrutura urbana está relacionada à segurança e desempenho estrutural dos elementos que sustentam o porte do tráfego viário que, diariamente, se articula na capital do Brasil.

O segundo aspecto reside no fato de que as proporções arquitetônicas dos elementos estruturais constituintes a infraestrutura urbana, permitem a existência das próprias escalas urbanas idealizadas pelo arquiteto, elemento tombado pelo órgão do IPHAN. Portanto, a população deve usufruir das áreas proporcionadas pela infraestrutura urbana em plena segurança, tanto sensorial quanto física.

Devido às circunstâncias vividas nos últimos tempos na capital brasileira, a

pergunta sobre intervenção, manutenção e preservação do patrimônio cultural precisa de uma resposta adequada, a partir de uma contextualização teórica sobre o panorama das discussões acerca da prática preservacionista, voltada para as obras modernistas de infraestrutura urbana (GALIMI et al., 2020, p.144).

O IPHAN, possui apenas dois instrumentos para tutelar a proteção do patrimônio moderno: tombamento e Cartilha do Plano para Ação para Cidades Históricas. Essa cartilha⁹, elaborada pelo órgão, propõe “enfrentar as questões estruturantes das cidades por meio de um planejamento integrado que estabeleça ações para o desenvolvimento social vinculadas às potencialidades do seu Patrimônio Cultural” (IPHAN, 2009).

Além desses dois instrumentos, que mostram mais intenções e iniciativas do que soluções minuciosas e permanentes, sem normatização jurídica, não existem planos de manutenção, revitalização ou preservação do patrimônio material relacionado à infraestrutura urbana. Portanto, permanece a questão sobre como agir no patrimônio construído, ainda mais quando o assunto está intimamente relacionado à segurança pública e vidas humanas.

Na capital modernista, temos exemplos de intervenções de Retrofit de infraestrutura urbana de forma eficiente, segura e economicamente sustentável, como mostra a figura 4.



Figura 4. Pilares em formato “asa delta”, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF
(Fonte: autoral)

⁹ Portal do IPHAN. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Cartilha%20-%20Planos%20de%20A%C3%A7%C3%A3o%20para%20Cidades%20Hist%C3%B3ricas.pdf>

5. O RETROFIT URBANO DO VIADUTO SOBRE A GALERIA DOS ESTADOS

O Retrofit urbano é considerado como um conjunto de ações de intervenção tecnológica no ambiente construído. O principal propósito de um Retrofit é tentar resolver questões críticas relacionadas à cidade, com foco na estrutura, infraestrutura, subsistemas e instalações, urbanismo e paisagismo. De acordo com Formisano e Milani (2019), os projetos de Retrofit, utilizados para proteger e conservar o patrimônio cultural material, devem verificar em primeira instância as características originais da construção, as mudanças físicas do objeto arquitetônico ao longo do tempo, os danos provocados por transformações antrópicas e a deterioração dos materiais de construção (apud GALIMI et al., 2020, p.146).

Como uma intervenção de Retrofit urbano interfere negativamente ou positivamente na vida da sociedade e dos usuários da infraestrutura?

Nas intervenções sobre patrimônio material de uma cidade tombada, a capacidade de manter a proporção das escalas urbanas de Brasília preconizadas pelo arquiteto Lúcio Costa e proporcionar uma utilização do espaço urbano de forma mais segura são considerados parâmetros imprescindíveis para um projeto de Retrofit. Nas imagens 5 e 7, o viaduto se mostra em ruína e com uma evidente falta de manutenção tanto para a estrutura quanto para o paisagismo ao redor da obra de arte.

Corroborando a falta de cuidado com o projeto sensorial original - proporcionado aos usuários da galeria -, a imagem 6 mostra toda a precariedade de uma área central que, ao invés de abandonada, deveria ser valorizada pela administração pública e pelos órgãos de salvaguarda do patrimônio moderno.

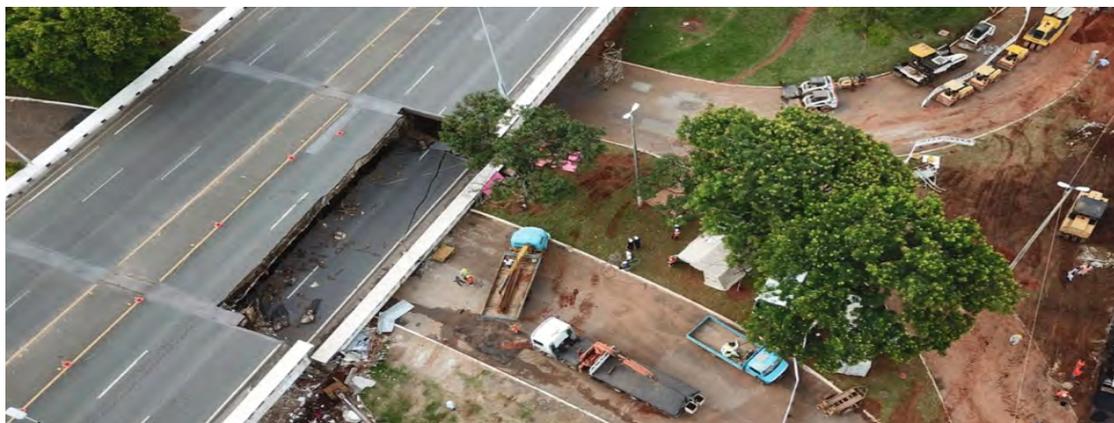


Figura 5. Trecho do tabuleiro em ruína e área externa antes do Retrofit urbano, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: Breno Fortes / Google Maps)



Figura 6. Galeria dos Estados antes do Retrofit, Brasília, DF (Fonte: João Mario Sales / Google Maps)



Figura 7. Trecho do tabuleiro em ruína e área externa antes do Retrofit, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: Tony Winston/Agência Brasília)



Figura 8. Revitalização urbana da área após Retrofit, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)



Figura 9 – 10. Revitalização urbana da área após Retrofit, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)

Em respeito às normas brasileiras de acessibilidade - NBR 9050:2015 e de projeto de estruturas de concreto - NBR6118:2014, o Retrofit urbano e estrutural do viaduto foi realizado pelo Departamento de estradas de rodagem do Distrito Federal (DER/DF) e pela NOVACAP. O arquiteto responsável pela requalificação urbana, acessibilidade e paisagismo ao redor do Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Francisco Afonso de Castro Júnior, mostrou que é possível proporcionar um espaço ameno, de agregação e valorização de uma das áreas centrais de Brasília. Outro fator positivo é que o projeto de recuperação estrutural foi desenvolvido pelo Engenheiro Bruno Contarini responsável pelo projeto inicial do viaduto no final da década de 50.



Figura 11. Vista leste da revitalização urbana da área após Retrofit, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)



Figura 12. Vista oeste da revitalização urbana da área após Retrofit, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)

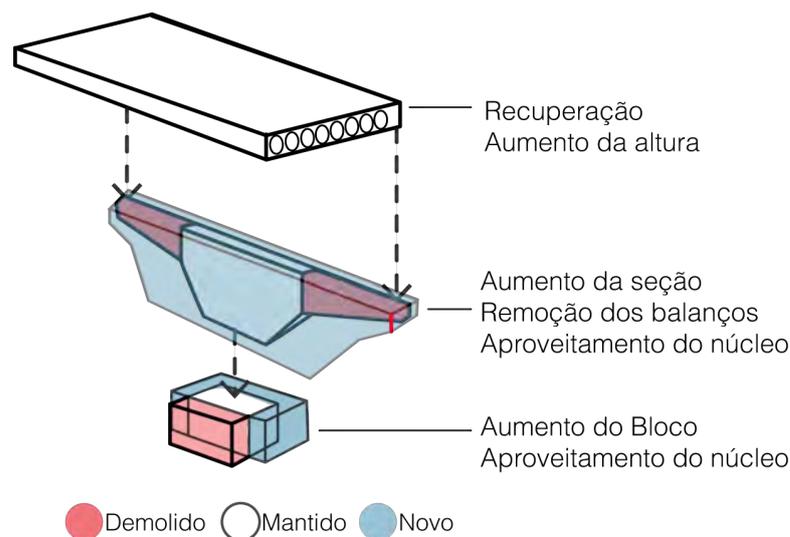


Figura 13. Esquema de Retrofit estrutural do novo pilar em formato “asa delta”, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)



Figura 14 – 15. Pilar em situação de ruína parcial após desabamento e pilar após Retrofit estrutural, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)

O novo perfil do pilar, tanto no sentido longitudinal quanto no transversal da própria seção geométrica, resulta mais robusto do original. Apesar disso, continua mantendo a essência da ideia do formato em “asa delta” e a proporção prevista pela escala Gregária, mostrando um caráter de durabilidade e segurança estrutural mais expressivo. A figura 16 mostra o projeto do novo pilar que, atualmente, sustenta o tabuleiro do viaduto e seu tráfego viário.

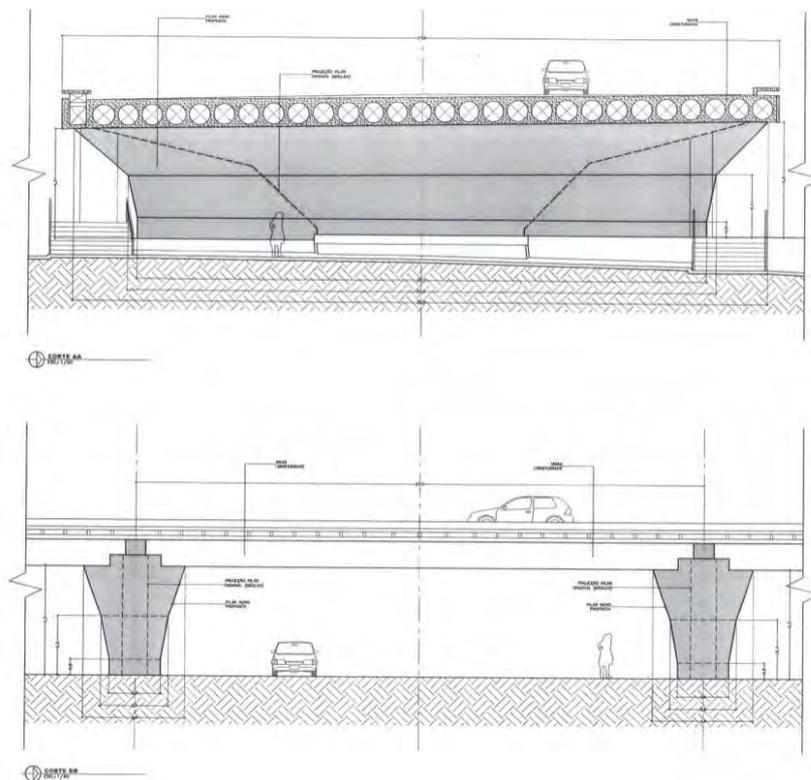


Figura 16. Projeto de Retrofit estrutural, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF
(Fonte: Relatório técnico, NOVACAP)

A intervenção de Retrofit para o Viaduto sobre a Galeria dos Estados trouxe uma tecnologia já amplamente utilizada na construção civil, o concreto permeável, colocado no piso inferior do viaduto. Esse material possui um alto índice de vazios interligados que garante a passagem de grandes volumes de água pluvial, aliviando a rede pública de drenagem.

Na região inferior do Viaduto logo a abaixo dos buzinotes, que conduzem as águas pluviais, foi colocado o concreto permeável para permitir um escoamento mais rápido, evitando a formação de eventuais poças de água que dificultem o transito de pedestres. Nas figuras 17 e 18, aparecem as bocas dos buzinotes e a pavimentação com pontos permeáveis para coleta das águas pluviais.

O paisagismo foi tratado com diferentes pavimentações, garantindo amplas áreas para trânsito e passagem de pessoas, respeitando a norma de acessibilidade para cadeirantes, com rampas acopladas ao sistema convencional de escadas, como mostram as figuras 19 e 20. A área urbana, além de percursos acessíveis, foi equipada com mobiliários urbanos que variam de elementos de bancos de concreto armado até gazebos sombreados pelas árvores preexistentes na área do Viaduto sobre a Galeria dos Estados, proporcionando espaços de vivência dentro do coração metropolitano de

Brasília. As Figuras 17 até 26 mostram a intervenção urbana e paisagística que foi implementada pelo Retrofit.

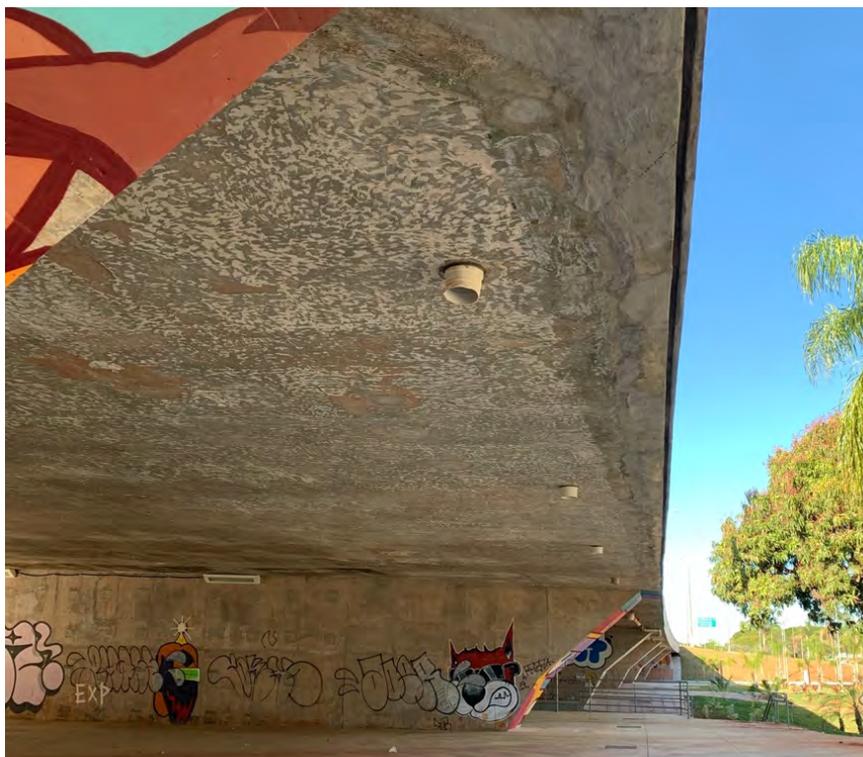


Figura 17. Revitalização urbana da área, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)



Figura 18. Ponto de escoamento em pavimentação drenante, concreto permeável, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)



Figura 19 – 20. Escadas e rampas respeitando a NBR 9050, após Retrofit URBANO, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)



Figura 21 – 22. Escadas e rampas respeitando a NBR 9050, após Retrofit URBANO, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)



Figura 23 Escadas e rampas respeitando a NBR 9050, após Retrofit URBANO, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)



Figura 24 Paisagem da área após Retrofit URBANO, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)

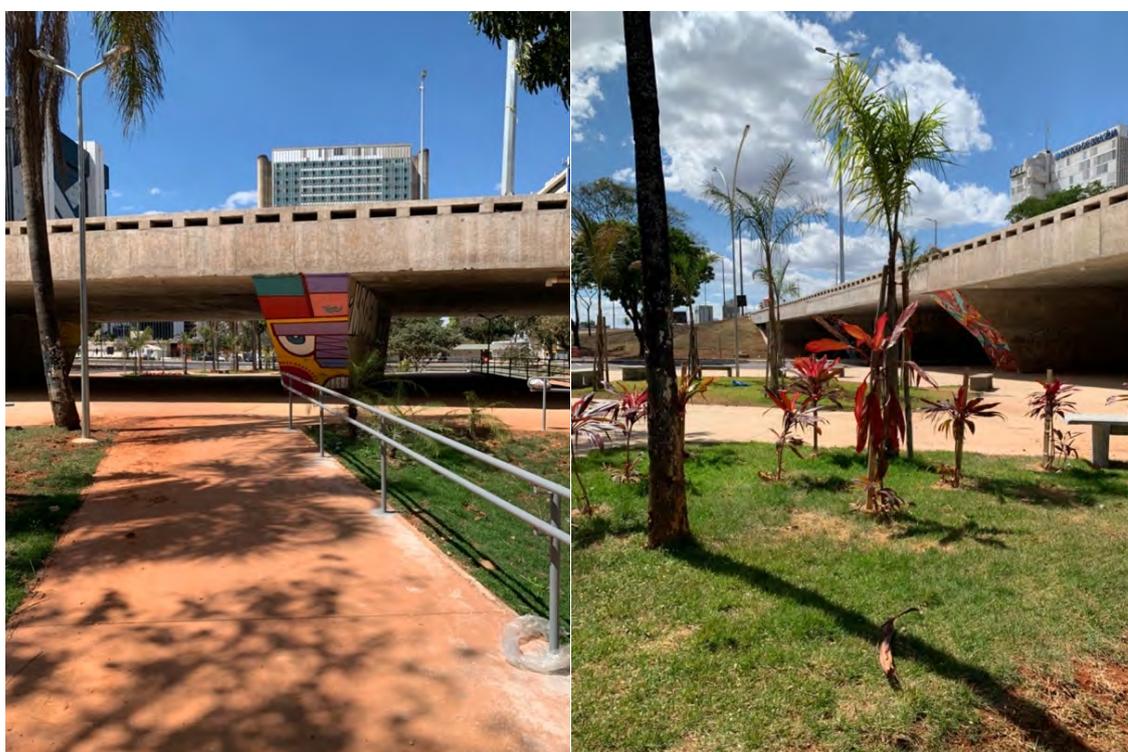


Figura 25 - 26 Paisagem da área após Retrofit URBANO, Viaduto sobre a Galeria dos Estados, Brasília, DF (Fonte: autoral)

6. CONCLUSÕES

O Retrofit urbano é uma intervenção no ambiente construído que serve para requalificar e dar uma nova função para determinadas áreas históricas ou tombadas que necessitam de uma resposta eficiente para o problema que envolve a cidade.

Contudo, as cartas patrimoniais elaboradas ao longo dos séculos XX- XXI e os instrumentos de preservação do patrimônio como o tombamento ou a prescrição da cartilha de intervenção nas cidades históricas elaborado pelo

IPHAN, não parecem ser suficientes para gerenciar as diretrizes de conservação ou manutenção de uma determinada obra de arte e seu imediato entorno. O Retrofit urbano, por sua vez, abrange múltiplos aspectos que oscilam de questões estruturais até de paisagismo e vivência dos usuários da área.

A preservação da escala Gregária e o formato geométrico em “asa delta” do principal elemento estrutural do viaduto, idealizados pelo arquiteto Lucio Costa, junto à rápida resposta à sociedade e ao aumento de durabilidade e segurança da infraestrutura, respeitando as normativas vigentes, participaram para que a intervenção do Retrofit urbano em Brasília proporcionasse uma resposta célere e menos onerosa do ponto de vista orçamentário para os brasilienses.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** Rio de Janeiro, p. 162. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos.** Rio de Janeiro, p. 238. 2014.

BRASÍLIA. **Decreto nº 10.829, de 14 de outubro de 1987. Regulamenta o art. 38 da Lei nº 3.751, de 13 de abril de 1960, no que se refere à preservação da concepção urbanística de Brasília.** [S. I.], 14 out. 1987. Disponível em: http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/15139/exec_dec_10829_1987_rep.html. Acesso em 3 ago. 2020.

CASTRO, A. **Notas Sobre as Inovações da Portaria nº 166/2016-IPHAN para a Preservação do Conjunto Urbanístico de Brasília.** Brasília: IPHAN, 2017.

DER/DF. **Relatório técnico – Proposta de recuperação do Viaduto sobre a Galeria dos Estados.** Brasília, 2018.

GALIMI, S.; PANTOJA, J.; BUZAR, M.; SANTOS MACHADO, P. R. **Retrofit em obras tombadas de infraestrutura urbana: o caso do Viaduto sobre a Galeria dos Estados.** Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, n. 26, p. 140-156, 28 maio 2020.

IPHAN. **Cartilha Plano de Ação para Cidades Históricas.** Ago. 2009. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Cartilha%20-%20Planos%20de%20A%C3%A7%C3%A3o%20para%20Cidades%20Hist%C>

3%B3ricas.pdf

IPHAN. **Lista dos bens tombados.** Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Lista%20Bens%20Tombados%20>. Acesso em: ago. 2020.

IPHAN. **Patrimônio em Transformação.** Superintendência do IPHAN no Distrito Federal, 2017.

JOKILEHTO, J. **Considerations on authenticity and integrity in World Heritage context.** In: City & Times, V. 2, N. 1, 2006.

OLIVEIRA, M. **Construída na Linha do Horizonte: Brasília, o Plano Piloto e a Manipulação do Chão.** Brasília: IPHAN, 2017.

PERPÉTUO, T. **Revisitando o Processo de Tombamento de Brasília: uma Contribuição Historiográfica para Novas Interpretações do Objeto Protegido.** Brasília: IPHAN, 2017.

REIS, C. **Conjunto Urbanístico de Brasília: da Preservação e Outros Demônios.** Brasília: IPHAN, 2017.

RUSKIN, J. **The seven lamps of architecture.** Londres: J.M Dent & Sons Ltd., 1921.

SCHLEE, A. **O Mall dos Brasileiros.** Brasília: IPHAN, 2017.

SILVA, E. G. **Os Palácios Originais de Brasília.** 2012. Tese de doutorado (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

UNESCO, **Operational Guidelines for the implementation of the World Heritage Convention.** Paris: World Heritage Centre. 2005.

ZMITROWICZ, W. **Infraestrutura urbana.** Texto técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia da Construção Civil. São Paulo, 1997.

XV**A INFLUÊNCIA DA FABRICAÇÃO DIGITAL JUNTO AO DESIGN ABERTO
NAS NOVAS GERAÇÕES DE PRODUTOS****THE INFLUENCE OF DIGITAL MANUFACTURING WITH OPEN DESIGN IN
NEW PRODUCT GENERATIONS****Victor Villar de Queiroz Milani**Universidade de Brasília, Departamento de Pós-Graduação
Brasília, Brasil**João da Costa Pantoja**Universidade de Brasília, Departamento de Pós-Graduação
Brasília, Brasil

joacpantoja@gmail.com

Márcio BusónUniversidade de Brasília, Departamento de Pós-Graduação
Brasília, Brasil

RESUMO: O presente trabalho busca demonstrar como a integração entre o Design Aberto e os usuários de produtos pode afetar as novas gerações de produtos e relações usuário/produto através de novos modelos de produção, em particular, a fabricação digital. O contexto do trabalho se encontra na Quarta Revolução Industrial, que abarca uma revolução tecnológica que transformará fundamentalmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Através da produção de um objeto baseado nas práticas abordadas, é demonstrada como a associação do Open Design com a Fabricação Digital permite produzir mobiliários que atendam melhor as necessidades dos usuários.

Palavras-chave: fabricação digital, móveis, cadeira, softwares, customizável.

ABSTRACT: This paper aims to demonstrate how the integration between Open Design and product users can affect new product generations and user / product relationships through new production models, in particular digital manufacturing. The context of the work lies in the Fourth Industrial Revolution, which encompasses a technological revolution that will fundamentally transform the way we live, work and relate. Through the production of an object based on the approached practices, it is demonstrated how the association of Open Design with Digital Manufacturing allows to produce furniture that better meets the needs of users.

Keywords: digital fabrication, furniture, chair, softwares, customability.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Klaus Schwab (2016) estamos participando de um novo processo conhecido como Quarta Revolução Industrial, marcada pela convergência de tecnologias digitais, físicas e biológicas. Essa que não é definida por um conjunto de tecnologias emergentes em si mesmas, mas sim a transição em direção à

novos sistemas que foram construídos sobre a infraestrutura da anterior, a Revolução Digital.

Estamos a bordo de uma revolução tecnológica que transformará fundamentalmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Em sua escala, alcance e complexidade, a transformação será diferente de qualquer coisa que o ser humano tenha experimentado antes, diz o autor do livro *A Quarta Revolução Industrial*. Algo tão relevante que não se compara ao advento da máquina a vapor no século 17, à exploração da energia e combustíveis fósseis no século 19 e à automatização na década de 70. A internet e os celulares marcam as mudanças recentes, mas, para Schwab, essa revolução difere de todas as outras.

Nesse panorama, buscam-se sempre inovações e novos métodos de produção (figura 01). A fabricação digital aparece como uma alternativa para dar mais liberdade a criação de modelos, onde a prototipagem rápida, essa que é considerada uma ferramenta poderosa que vem com o intuito de auxiliar a fabricação de novos produtos, se transforma em uma opção para dar formas as novas demandas.

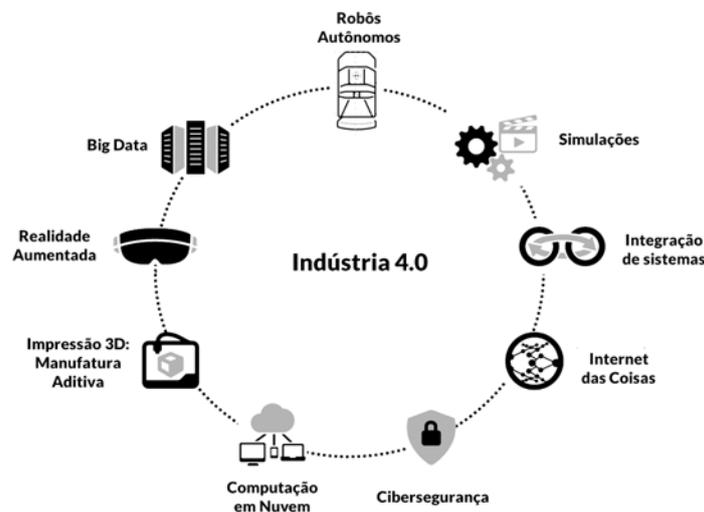


Figura 01 - Indústria 4.0

Kolarevic (2001) afirma que foi somente nos últimos anos que os avanços nas tecnologias de projeto auxiliado por computador (CAD) e fabricação assistida por computador (CAM) começaram a ter um impacto nas práticas de projeto e construção de edifícios. Estes que abrem novas oportunidades, permitindo a produção e a construção de formas, que até recentemente eram consideradas complexas e de alto custo para se projetar, produzir e montar usando tecnologias

tradicionais de construção.

Visando a necessidade e em como e onde essas novidades vão ser divulgadas e armazenadas para o público, Stallman propôs uma ideia revolucionária em 1984 com o conceito de “*Free Software Foundation*”, posteriormente confirmada em 1998 na “*Open Source Definition*”. O conceito-chave é que deve haver acesso irrestrito aos códigos de programação de computadores: qualquer pessoa deve ser colocada em posição de usá-los, modificá-los e distribuir qualquer modificação sem ter que pagar taxas de licença. Dado o trabalho adicional que deve entrar em um modelo paramétrico, se espera ver um comércio intelectual de modelos e técnicas. Como ferramenta de aprendizagem e capacitação, o código reduz o trabalho de fazer um modelo, Woodburry (2010). Este mesmo conceito de Woodburry e Stallman pode ser aplicado na fabricação de produtos e em seu desenvolvimento, gerando a alternativa de customização de acordo com a necessidade, conhecido como Design Aberto.

2. CONTEXTO

O Design Aberto compartilha ideias da cultura *Open Source*¹, sendo denominado e mais difundido como *Open Design*². Ou seja, o design por meio de sua capacidade conceitual, projetiva e transformadora, que passa a ser permeado por uma nova concepção do fazer advinda da consequência da revolução das tecnologias da informação e do conhecimento, explica Cabeza et al (2014). Alguns autores conectam a origem do *Open Design*, ou design aberto, como consequência do movimento do software aberto e a conexão e florescimento dos computadores com a Internet (De Mil, 2011, p.36), como a união do design (entendido enquanto desenho ou projeto) + *Open Source* (código aberto) (Rossi e Neves, 2011, p. 12).

Para Cabeza et al (2014) o design, desde sua prática projetiva, novas formas de produção e conceitos do *Open Design*, se converte em uma ferramenta de inovação social para que as comunidades e a sociedade possam inventar novas regras, novos métodos de aprendizagem, novas formas de resolver seus

¹ Open Source Definition, [http:// www.opensource.org](http://www.opensource.org)

² Open Design definição por Cabeza et all, em Design aberto: prática projetual para a transformação social. (2014)

próprios problemas e conflitos, evitando a dependência dos sistemas centralizados de cima para baixo e transformando a sociedade de abaixo para acima, evitando, na medida do possível, a dependência dos modelos lineares.

À partir da "*Open Source Definition*", os teóricos deste modelo de desenvolvimento de software apontam que quando os programadores têm permissão para trabalhar livremente no código fonte de um programa, trocando arquivos e ideias através da rede da Internet, inevitavelmente melhora todo o processo pois a colaboração ajuda a corrigir erros e permite a adaptação de diferentes necessidades das plataformas de hardware.

A partir da Quarta Revolução Industrial, onde Rayna e Striukova (2010) afirmam que a visão tradicional da inovação, que implica que as empresas por conta própria, tem sido muito prejudicada nos últimos anos, recentemente desafiada pelo conceito de "inovação aberta" promovendo o uso de conhecimento externo. A colaboração entre empresas sempre existiu de uma forma ou outra, no entanto, inovação aberta em grande escala é agora o próximo passo para muitas empresas. O design aberto assume o acesso aberto, o compartilhar, a mudança, a aprendizagem, o conhecimento e habilidades em constante crescimento e evolução. É uma plataforma aberta e flexível, em vez de uma fechada (Hummels, 2011, p.164). Com os novos avanços tecnológicos, o conhecimento e a informação se convertem na base da economia e na principal força produtiva nesse momento da contemporaneidade. O conhecimento pode se expandir globalmente, organizar-se e fazer-se mais acessível a qualquer pessoa que possa estar interconectada; além disso, o conhecimento formal pode ser convertido em *bits*³, difundido a um custo baixo e ser materializado de novo.

"Todo conhecimento passível de formalização, pode ser abstraído de seu suporte material e humano, multiplicando quase sem custos na forma de software e utilizando ilimitadamente em máquinas que seguem um padrão universal" (Gorz, 2005, p.10).

Visando isso, Cabeza et al (2014) aponta que as tecnologias da informação e o conhecimento, a cultura do código aberto e o modo de produção "*Commons-based peer production*"⁴ são os fundamentos que deram um novo enfoque à

³ Bits x Átomo: conceito originado por Nicholas Negroponte, MIT Media Lab, que se refere a uma distinção entre software e hardware.

⁴ Commons-based peer production é um sistema socioeconômico de produção que está emergindo

abertura da sociedade e origem ao movimento do software livre e do software de código aberto, cujas práticas foram espalhadas por muitos campos do conhecimento, não só os digitais, mas também os físicos e analógicos, permitindo as transformações tecnológicas, com a promessa de inverter a estrutura atual das ferramentas e criar novas formas de produção abertas aos usuários designers, fabricantes e comunidades, como alternativa ao modelo de desenvolvimento fechado e linear, atualmente em crise mas que continua a ser utilizado no sistema *Open Source*, como opção para aqueles que o procuram um modelo pronto.

A ideia sobre fábricas da Revolução Industrial está mudando. Segundo Anderson (2012, p. 14), assim como a *web*(internet) democratizou os *bits*, uma nova classe de tecnologias de “prototipagem rápida”, como impressoras 3D e cortadores a laser, está democratizando a inovação nos átomos³. Kolarevic (2003, p.46) afirma que a era digital reconfigurou radicalmente a relação entre concepção e produção, criando uma ligação direta entre o que pode ser concebido e o que pode ser construído. Os projetos de construção hoje em dia não nascem apenas digitalmente, mas também são realizados digitalmente por meio de processos de “*file-to-factory*”⁵ de tecnologias por computador (CNC). O fato de que as geometrias complexas são descritas precisamente como curvas e superfícies que não são uniformes (*Non-Uniform Rational B-Splines - NURBS*) e, portanto, computacionalmente possíveis, também significa que sua construção é alcançável por meio de processos de fabricação CNC. Processos de produção baseados em ferramentas de corte, subtrativas, aditivas e formativas oferecem muitas oportunidades para a exploração tectônica de novas geometrias, tanto em pequena escala quanto em escala industrial.

Kolarevic (ACADIA, p.269, 2001) também aponta o corte CNC, ou fabricação 2D, como técnica de fabricação mais comumente usada. Existem, no entanto, grandes diferenças entre essas tecnologias nos tipos de materiais ou espessuras máximas que podem ser cortadas. Já as estratégias para produção

no ambiente de rede digital em forma eficaz para fornecer informações, conhecimentos ou bens culturais sem depender de hierarquias de preços ou gerenciais de mercado para coordenar seus negócios comuns. Benkler e Nissenbaum (2006).

⁵ File-to-factory é usada para descrever a transferência direta de dados do arquivo CAD para a planta de fabricação CNC. Burry, (2012, p.55).

usadas na fabricação 2D geralmente incluem contorno, triangulação (ou tesselação poligonal), uso de superfícies reguláveis, desenvolvíveis e desdobramento. Todos eles envolvem a extração de componentes bidimensionais planares de superfícies geometricamente complexas ou sólidos que compreendem a forma do projeto. Qual dessas estratégias é usada depende do que está sendo definido tectonicamente: estrutura, envelope, uma combinação dos dois, etc. Depois que os componentes são fabricados digitalmente, a velocidade da sua montagem no local pode ser aumentada com a tecnologia digital. Onde modelos digitais tridimensionais podem ser usados para determinar a localização e movimentação de cada componente e, finalmente, para fixar cada componente em seu devido lugar.

Podemos indicar a possibilidade de estarmos às portas de um modo de produção livre, baseado nas práticas cooperativas, que, além de compartilhar conhecimento e informação, compartilham artefatos para usar, criar, modificar, aplicar às nossas próprias necessidades em seus próprios contextos socioculturais, garantindo a liberdade em uma nova “mistura”, integração ou miscigenação entre usuários, comunidades, fabricantes e designers. Uma nova era de inovação está surgindo, a fabricação digital e a possibilidade de emancipação do indivíduo diante do trabalho, em seu entorno físico, econômico, social, político e cultural (Anderson, 2012, p.17). O movimento de *Open Design* no Brasil está sustentado em um ecossistema de indivíduos, usuários, designers, fabricantes, fazedores ou comunidades frequentemente associados para produzir conteúdo cultural, conhecimento, hardware, software e outros tipos de informações, e, no caso do *Open Design*, produtos, sistemas e serviços que oferecem soluções a seus interesses particulares ou comunitários (CABEZA et al 2014).

Se, nos dez anos passados do século XXI, têm sido sobre a descoberta de novas formas de criar, inventar e trabalhar juntos na web, os próximos dez anos vão ser sobre como aplicar essas lições no mundo real (Anderson, 2012, p.17). Então, essa pesquisa pretende entender se a associação da customização com o *Open Design*, junto de tecnologias emergentes, permite produzir produtos que atendam melhor as necessidades dos usuários.

3. METODOLOGIA

Para o estudo e fabricação de um produto que representasse as necessidades dos usuários associada ao design aberto propõe-se a produção de uma cadeira de pequeno porte, ergonômica e funcional, com o uso do design aberto e customização, projetadas a partir de tecnologias de design auxiliado por computador (CAD) e fabricação de produtos assistida por computador (CAM), por meio da prototipagem rápida (CNC). Os procedimentos metodológicos serão divididos em três etapas, descritas a seguir:

A primeira é a formulação teórica que se embasa na revisão bibliográfica sobre o contexto e a criação do *Open Design* e os modelos de produção a partir da customização colaborativa, visando identificar os principais aspectos que diferenciam estes dos processos convencionais.

Partindo para a segunda etapa foi aplicado um questionário online entre usuários de produtos para medir a familiaridade dos consumidores com a customização colaborativa dividido em três opções: Design Fechado, Design Customizável e Design Colaborativo. Em cada opção foram abordados níveis diferentes de interação entre consumidor e o objeto de estudo, sendo o Design Fechado sem a participação dos consumidores no design, o Design denominado Customizável onde serão apresentadas medidas específicas para três possibilidades de padrões de uma cadeira chegando à última opção o Design Colaborativo, este o consumidor poderá fornecer informações que poderão ser usadas no desenvolvimento de novas gerações do produto. A partir das opções na pesquisa também serão abordados aspectos sociais e sobre a proximidade com os meios colaborativos presentes no dia-a-dia.

Assim, na última parte do processo, a criação da Cadeira SSV01. Produzida baseada nos dados recolhidos no questionário presente na etapa anterior. Essa etapa aborda simulações computacionais em programas como AutoCAD e SketchUp para produção dos desenhos técnicos que serão utilizados para a impressão de protótipos para testes e, em seguida, produção em sua escala real através de máquinas de corte CNC.

4. TESTES

Para desenvolver a Cadeira SSV, a primeira fase estabelecida foi a desconstrução da mesma. Alimentada pelas informações recolhidas no questionário

online, foram noventa respostas que resultaram em médias de altura, peso, idade e sexo para determinar medidas padrões (figura 02).



Figura 02 - Peças Cadeira SSV feitas a partir de modelagem 3D.

Outro ponto abordado na pesquisa, em todas as opções, foi a indagação pelo conhecimento sobre o conceito de customização colaborativa, onde 50% (45 pessoas) conhecem seus ideais (figura 03).

Customização Colaborativa

Tipos	Conhecem o conceito (%):
Design Fechado	55.26
Design Customizado	45.73
Customização Colaborativa	50
média:	50.33

Figura 03 - Peças Cadeira SSV feitas a partir de modelagem 3D.

Para guiar o desenvolvimento do objeto de estudo, este foi dividido em três peças principais: moldura, assento e encosto (figura 04). Através de simulações computacionais pelo software AutoCAD, modelagem 2D, SketchUp, modelagem 3D, foi possível chegar nos primeiros moldes, estes feitos em protótipos através de uma máquina de corte a laser (figura 05).



Figura 04 - Peças Cadeira SSV feitas a partir de modelagem 3D.



Figura 05 - Protótipo da Cadeira SSV feitas na máquina de corte a laser.

A produção do protótipo foi feita a partir da criação do material técnico do produto. As máquinas CNC seguem configurações pré-estabelecidas representadas em desenhos (figura 04), por isso a importância do protótipo para que tudo esteja dentro do esperado e possíveis erros reparados.

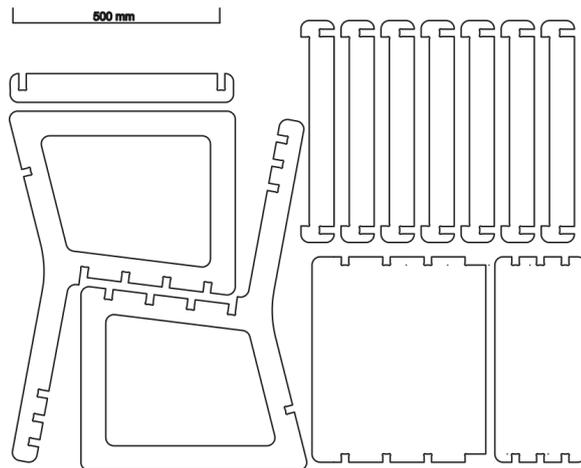


Figura 06 - Peças Cadeira SSV preparadas para corte.

Com arquivo preparado para impressão, o desenho é sincronizado com a máquina a laser para criar seu plano de corte. Este que segue as linhas do desenho em uma ordem delimitada pelo sistema do software. As máquinas de corte a laser trabalham com a emissão de um feixe de laser gerado a partir da aplicação de pulsos de altíssima voltagem em uma mistura gasosa à base de CO₂, que faz o corte por meio de combustão, derretimento ou sublimação. Cada material reage de forma diferente, o que afeta a qualidade das bordas e até a largura do corte propriamente dito. O processo tende a durar poucos minutos pois a espessura do material escolhido foi de 6mm. Quando completa a impressão, é possível fazer a separação das peças e fazer a montagem do protótipo (figura 05).



Figura 07 - Protótipo da Cadeira SSV feitas na máquina de corte a laser.

Com o protótipo produzido, foi feito um teste de esforço utilizando cadeiras empilháveis, em escala real, uma por uma, como estimativas de quanto peso

seria o limite. Este teste não é considerado válido para determinar um valor exato de resistência, mas foi usado como inicial para que se tivesse um norte em relação a sua proporção e equilíbrio. A resposta foi positiva com o número de cadeiras, chegando a resistir ao número de seis no total. (figura 08 e 09).

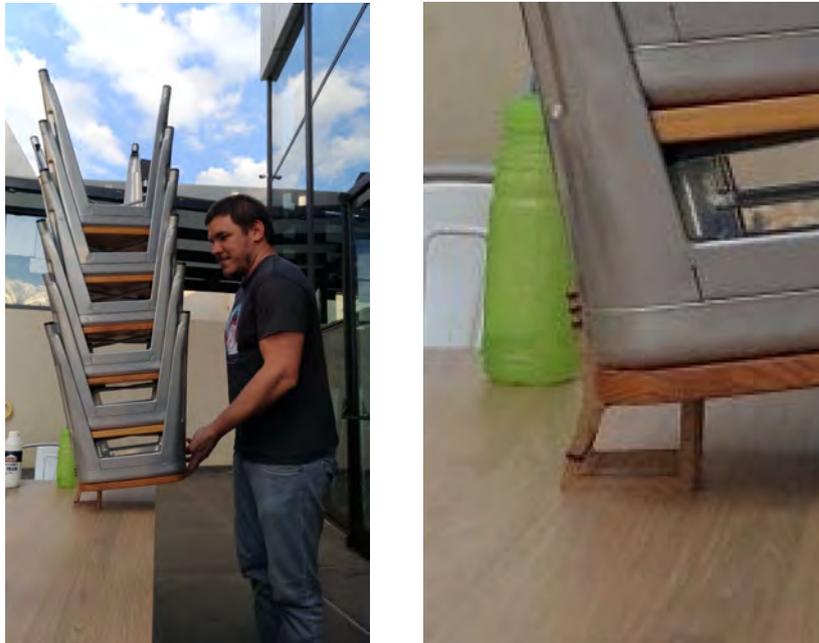


Figura 08 e Figura 09 - Teste de Resistência do Protótipo

A escolha de material foi baseada em Kolaravic (ACADIA, p.269, 2001) que explica que existem, no entanto, grandes diferenças entre essas tecnologias nos tipos de materiais ou espessuras máximas que podem ser cortadas. O compensado de 18mm foi considerado adequado para a impressão visto que sua espessura é aceita no corte da máquina CNC e possui uma resistência mínima. Como a escala e a espessura são diferentes do protótipo esse processo é mais prolongado.

Definidos os parâmetros parte o corte, a máquina CNC possui modelos de softwares parecidos com a laser, partindo do mesmo princípio de analisar o desenho importado para criar o mapa de corte (figura 10) delimitando o tempo de 03h30minutos para a conclusão do processo. Após o mapeamento de corte, a máquina inicia o processo seguindo o desenho enviado (figura 11).

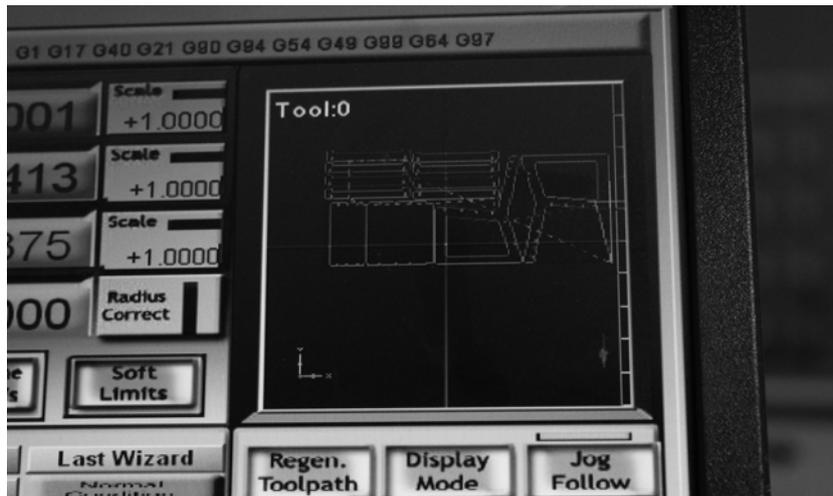


Figura 10 - Mapa de corte da máquina CNC.

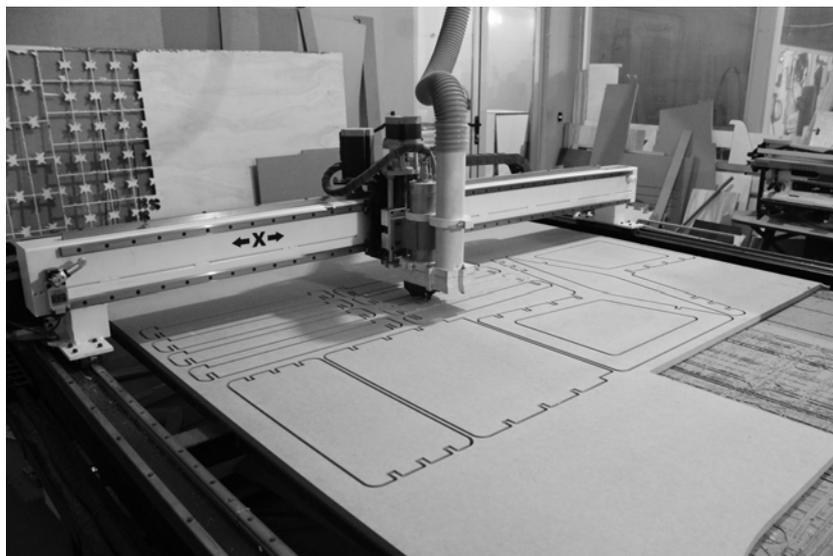


Figura 11 - Máquina CNC cortando primeiro protótipo em escala real

O primeiro contato com as peças impressas, em escala real, é no processo de lixamento do compensado para a retirada de qualquer resíduo que tenha ficado após a saída do material do maquinário. Essa etapa é importante para que o objeto de estudo, feito a partir de encaixes, e suas arestas estejam precisamente preparadas para suportar o sistema construtivo da cadeira (figura 12).



Figura 12 – Detalhe protótipo Cadeira SSV

Com o processo finalizado resta a última etapa, sua montagem (figura 13). Esta que por sua vez é intuitiva se apoiando no conceito da experiência de produto. A técnica da utilização de encaixes é comumente vista na sociedade como processos de desenvolvimento cognitivo para crianças, através de brinquedos como os de encaixe de formas geométricas, onde peças com formas delimitadas devem preencher o vazio com seus respectivos formatos.



Figura 13 – Protótipo da Cadeira SSV montado

5. RESULTADOS

Como o processo foi embasado nos conceitos Open Source e do Open Design, o arquivo base será disponibilizado em uma plataforma online no site do escritório StudioVRM (www.studiovr.com.br) em formatos fechado, em PDF, e aberto, em DWG, para ser compartilhado sem nenhum tipo de cadastro ou vínculo com os autores da primeira versão do objeto de estudo.

Como podemos observar por Mitchell e McCullough (1995) o plano não “gera mais” o design; seções possuem um valor analítico. Planos, repetições e simetrias perdem sua razão de ser passada como variabilidade infinita e se torna tão viável quanto modularidade e personalização em massa oferecendo alternativas à produção em massa. Integrando projeto, análise, fabricação e montagem de edifícios em torno de tecnologias digitais, arquitetos, engenheiros e construtores têm a oportunidade reinventar o papel de um “mestre construtor” e reintegrar o sistema, atualmente separado por disciplinas de arquitetura, engenharia e construção em uma colaboração digital relativamente perfeita superando “a lacuna entre projetar e produzir que abriu quando designers começaram a fazer desenhos”.

Durante todo o processo de criação design do objeto de estudo foram escolhidas outras três opções para cada peça e em seguida estabelecido cores, dando mais três opções (natural, preta e branca). Como cada parte da cadeira ganhou três possibilidades, gerando possibilidades para que se crie escolhas para o consumidor ter o poder de definir qual tipo e modelo será mais adequado para cada caso. O cálculo de possibilidades funciona de maneira fatorial, sendo que dentro das variações possíveis de cor e tipologia temos nove tipos de assento (três modelos x três cores), assim como no encosto. Isso cruzado com as três possíveis molduras, temos um número total de 243 possibilidades de cadeiras (figura 12).

Memória de Cálculo: $[(3 \times 3) \times 9] \times 3 = 243$

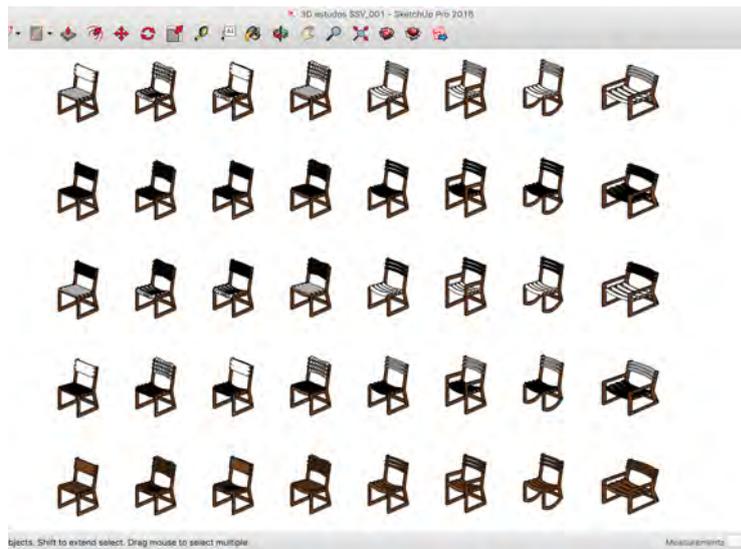


Figura 14 - Modelos parametrizados da Cadeira SSV, software SketchUp.

Utilizando novas tecnologias para produção do objeto de estudo, o processo foi preciso e satisfatório em sua primeira tentativa. É possível ver a importância da simulação à priori a produção reduzindo a chance de erros, no momento de produção e de design. Já com as peças separadas, a média de tempo de montagem sem instruções se estabeleceu em dez minutos, algo visto como positivo por incitar os instintos do consumidor. Com a cadeira montada, foi visto uma tendência a não resistir tão bem à movimentos laterais de torção, mas em um contexto global o objeto de estudo se comportou resistente para sua função suportando até 150kgs.

06. CONCLUSÃO

Em um design mediado digitalmente, como manifestada nos edifícios e projetos de Frank Gehry de a “vanguarda digital”, as práticas do passado de repente parecem irracionais. Modelos de design capazes de transformação consistente, contínua e dinâmica estão substituindo as normas estáticas dos sistemas convencionais e a fabricação digital é uma delas. Para se transformar um modelo vigente é preciso que haja empoderamento da sociedade onde o indivíduo tem suas ações controladas por si próprio e não por sistemas centralizados definidos por normas generalizadas. Busca-se entender a demanda do indivíduo contemporâneo, no contexto do mundo da informação, criando oportunidades para sua capacitação em relação aquilo que consome e não sua dependência do mesmo.

O procedimento foi considerado inclusivo para os consumidores e visto como positivo para o desenvolvimento do modelo em si. Outro fator positivo apontado foi a liberdade para alterar o arquivo original para se adequar melhor as necessidades individuais.

REFERÊNCIAS

- KOLAREVIC, B; **“Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in the Information Age”**, University of Pennsylvania, ACADIA, USA, 2001.
- KOLAREVIC, B; **“Architecture in the Digital Age”**, Spoon Press, 2003.
- ANDERSON, C; **“Makers: The New Industrial Revolution.”**, Randon House, EUA, 2012.
- NETO, W; ARAÚJO, A; CELANI, G. **“Modelagem paramétrica para o projeto e produção automatizados de uma peça de mobiliário: um exercício de aplicação”**, Universidade Federal de Campinas, BRASIL.
- CHUA, C. K. Leong K. F., **“Rapid Prototyping: Principles and Applications in Manufacturing.”** New York, USA. Wiley, 1997.
- FRAILE, M; **“El Nuevo Paradigma Contemporáneo. Del Diseño Paramétrico a la Morfogénesis Digital”**, Universidad de Buenos Aires, ARGENTINA.
- BONACCORSI, A; ROSSI, C; **“Comparing motivations of individual programmers and firms to take part in the Open Source movement. From community to business”**, Sant’Anna School Of Advanced Studies, Pisa, ITÁLIA.
- NICOLACI-DA-COSTA, A; **“Revoluções tecnológicas e Transformações Subjetivas”**, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, BRASIL, 2002.
- RAYNA, T; STRIUKOVA, L; **“Large-Scale Open Innovation: Open Source vs. Patent Pools”**, London Metropolitan University; University College London, U.K, 2010.
- CABEZA. E., MOURA, M. e ROSSI, D.: **“Design aberto: prática projetada para a transformação social.”**, Universidade Estadual Paulista, Brasil, 2014.
- GORZ, A: **“O Imaterial: conhecimento, valor e capital,”**, Annablume, Brasil, 2005.
- SCHWAB, K: **“A Quarta Revolução Industrial”**, EDIPRO, 2016.
- SILVA. N.; AVIANI, F: **“O papel da Educação Digital na mudança de Para-**

- igma na Arquitetura Contemporânea: da padronização a customização em massa.**”, Universidade de Brasília, Brasil, 2016.
- HUMMELS, C: **“Teaching attitudes, skills, approaches, structure and tools, Open Design Now: Why Design Cannot Remain Exclusive”**, BIS Publishers, Holanda, 2011.
- DE MUL, J.: **“Redesigning design. Open Design Now: Why Design Cannot Remain Exclusive.”**, BIS Publishers, p. 34-39, Holanda, 2010.
- MITCHELL, W; McCULLOUGH M; **“Digital Design Media”**, John Wiley and Sons, 1995.
- BURRY, M: **“Models, prototypes and archetypes fresh dilemmas emerging from the ‘file to factory’ era”**, Bob Sheil (ed.), John Wiley and Sons, Reino Unido, 2012, p.55-74.
- BENKLER. Y., NISSENBAUM, H.: **“Commons-based Peer Production and Virtue.”**, YALE University, EUA, 2014.
- CHUA. C., Hong, H. and Ho, S.: **“Rapid Tooling Technology: A comparative study, the International Journal of Advanced Manufacturing Technology”**, Volume 15, Numero 8, 1999.
- BRIDGES, A; **“The Challenge of Constraints, A Discussion of Computer Applications in Architecture Design”**, University of Strathclyde, SCOTLAND, UK.
- STALLMAN, R: **“Free Software, Free Society”**, Free Software Foundation, EUA, 2010.
- ROSSI, D.C; NEVES, H.: **“Open Design: Uma experiência Aberta e Colaborativa para o ensino de Design”**. In: C CARRARA; D. ROSSI; J. Da SILVA; L. PASCHOARELLI; M.
- NAKATA; M. MOURA; O. RODRIGUES; S. BIGAL, S.; T. BARATA, **Ensaio em Design: ensino e produção de conhecimento**. 1 Ed, CANAL 6, Brasil, 2011.
- MILANI, V; **“Arquivo Base”**, STUDIOVRM, 2019. Disponível em: <http://www.studiovr.com.br> Acesso Novembro de 2019.
- FERREIRA, M; SILVA, Luiz Felipe Coutinho Ferreira da, **“Construção de Matrizes Táteis pelo Processo de Prototipagem Rápida”**, Instituto Militar de Engenharia - IME, BRASIL, 2010.
- AISH, R., WOODBURY, R., **“Multi-level Interaction in Parametric Design”**.

SmartGraphics, 5th International Symposium, SG2005, Lecture Notes in Computer Science 3638, Andreas Butz, Brian Fisher, Antonio Krüger and Patrick Oliver(eds). pp151-162. 2005.

WOODBURRY, R: “**Elements of Parametric Design**”, ROUTHEDGE, EUA, 2010.

REFERENCIAL DE IMAGENS

Figura 01_ “Pilares da Quarta Revolução Industrial são desenvolvidos na base de novas tecnologias emergentes.”

Acesso em: 20 de julho de 2019. Disponível em: <https://xgb.com.br/o-que-e-industria-4-0-e-o-que-eu-tenho-ver-com-isso/>

Figura 02_ “Tabela com os dados retirados das fichas dos usuários participantes do questionário.” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

Figura 03_ “Média sobre a familiarização com o conceito de Customização Colaborativa entre Design Fechado, Customizado e Customização Colaborativa.” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

Figura 04_ “Peças Cadeira SSV feitas à partir das fichas dos usuários participantes do questionário.” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

Figura 05_ “Protótipo da Cadeira SSV feito em máquina de corte a laser.” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

Figura 06_ “Peças Cadeira SSV preparadas para corte em PDF.” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

Figura 07_ “Protótipo Cadeira SSV montado com peças cortadas em máquina a laser.” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

Figura 08_ “Teste de resistência do protótipo.” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

Figura 09_ “Teste de resistência do protótipo.” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

Figura 10_ “Mapa de corte, máquina CNC.” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

Figura 11_ “Máquina CNC cortando primeiro protótipo escala real..” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

Figura 12_ “Detalhe Protótipo Cadeira SSV.” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

Figura 13_ “Protótipo da Cadeira SSV montado.” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

Figura 14_ “Modelos parametrizados da Cadeira SSV, software SketchUp.” MILANI, V; Universidade de Brasília, 2019.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos arquitetos Lucas de Sordi e Felipe Sanches por serem coautores em todo o processo de desenvolvimento do primeiro modelo da Cadeira SSV. Em seguida, ao professor Márcio Buson e João Pantoja por acompanharem o desenvolvimento teórico com ricas notas e visões diferenciadas em suas orientações durante toda a construção do trabalho. Ao programador Arthur Vargas por desenvolver o questionário online e o sistema para disponibilizar o modelo para todos. E claro, a Universidade de Brasília pela oportunidade para realizar a pesquisa sobre o tema abordado.

XVI**DEGRADAÇÃO E PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE OBRA DE INFRAESTRUTURA: VIADUTO GALERIA DOS ESTADOS****DEGRADE AND PROCESS OF RECOVERY OF INFRASTRUCTURE WORK: VIADUTO GALERIA DOS ESTADOS****Wender Camico Costa**

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília – DF.
<http://lattes.cnpq.br/2430654606563158>

João da Carlos Pantoja

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília – DF.
<http://lattes.cnpq.br/6879105340639188>.

Márcio Augusto Roma Buzar

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília – DF.
<http://lattes.cnpq.br/6339433870219875>

Francisco Afonso de Castro Júnior

Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília – DF.
<http://lattes.cnpq.br/2163434007388229>

Resumo: Em fevereiro de 2018, em uma das importantes vias do Distrito Federal, (DF-002 Eixo Rodoviário Sul), trecho próximo da Galeria dos Estados, parte do tabuleiro colapsou, demandando ações de interdições e recuperações. Trata-se de uma obra de arte que tinha histórico de patologias estruturais percebidas por técnicos, pesquisadores e órgãos públicos de controle. Sua recuperação envolve interesses diversos e características construtivas restritivas. O presente trabalho apresenta um breve histórico sobre a construção inicial e o tombamento, o processo avaliativo feito pelo órgão de controle, alguns desdobramentos em razão disto e a solução estrutural e arquitetônica para reconstrução de uma alternativa funcional para a referida obra de arte.

Palavras-chave: Projeto de recuperação. Resposta ao colapso de parte do viaduto.

Abstract: In February 2018, on one of the important thoroughfares of the Federal District, (DF-002 South Road Axis), near the Gallery of States, part of the board precipitated, demanding actions of interdictions and recoveries. It is a work of art that had a history of structural pathologies perceived by technicians, researchers and public control bodies. Its recovery involves diverse interests and restrictive constructive characteristics. The present work presents a brief history about the initial construction and the tipping, the evaluation process made by the control body, some developments due to this and the structural and architectural solution for the reconstruction of a functional alternative for the referred public construction.

Keywords: Recovery Project. Response to part of the viaduct collapse.

1 INTRODUÇÃO

As pontes e viadutos são estruturas importantes para o transporte de cargas, passageiros e mobilidade em geral de um país, seja por modal rodoviário, dutoviário ou ferroviário. Elas são classificadas como Obras de Arte Especiais (OAEs), pois requerem um projeto específico, por suas proporções e características peculiares, DNIT (2017). No Brasil, no ano de 2015, 84% da carga nacional foi transportada pelos modais citados, destacando a importância destas estruturas para o transporte. Apesar da administração pública brasileira ser a principal responsável pelas obras de artes públicas, tanto na construção como na manutenção, e ainda que a Constituição Federal de 1988 estabeleça princípios de eficiências e responsabilidades em geral aos administradores públicos, as realidades brasileiras, nas três esferas de governo, não apresentam, aparentemente, resultados satisfatórios de manutenções dos seus patrimônios, entre os quais as suas obras de artes. Ainda que os estudos de Trindade (2011), sejam mais voltados às construções edilícias, podem-se utilizá-los, por similitude, ao caso de construções como o viaduto objeto deste estudo, pois trata-se de construção como edificações, sob sua área de rolagem, com dezenas de lojas, escritórios, estação de metrô, restaurantes e outras edificações. As construções em geral são administradas por pessoas que não reconhecem os custos globais de manutenções, subestimando os custos indiretos que afetam e propiciam degradação e depreciação do patrimônio. Segundo Trindade (2011) este fenômeno é apresentado como o iceberg dos custos globais da construção. Trindade (2011), de forma metafórica, representou no iceberg os projetos, as licenças, a aquisição do terreno e a construção como uma parcela que as pessoas enxergam dos custos diretos. Debaxo da água estão os custos indiretos que, quando negligenciados, se tornarão superiores ao investimento inicial, Iberê (2019). No que se refere a construções administradas pelo poder público, que tem regramentos e controladores externos dos processos, como os constituídos pela CRFB (1988) e pela Lei de Licitações, número 8.666, de 1993, por exemplo, é notório o retardo das ações em manutenção, pois há limitações de recursos financeiros e alongamento de processo administrativo, pois este tem fases criteriosas e raramente dispensadas de serem atendidas. Medeiros (2008) apresenta, em suas pesquisas, que os investimentos em manutenção

são na mesma ordem de grandeza que os valores com gastos em construções novas. O impacto econômico que estes serviços de conservação predial possuem na economia podem ser vistos na Tabela 1, com exemplos de países europeus e seus respectivos gastos em serviços de manutenção e reparo.

Tabela 1 – Gastos com manutenção e reparo em países desenvolvidos.
Fonte: Medeiros (2008) apud Takewaka (2007).

Pais	Gastos com construções novas	Gastos com manutenção e reparo	Gastos totais com construção
França	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
Alemanha	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
Itália	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
Reino Unido	60,7 Bilhões de libras (50%)	61,2 Bilhões de libras (50%)	121,9 Bilhões de libras (100%)

Os serviços de conservação predial, segundo Flores (2009), têm por finalidade restabelecer o desempenho de um imóvel ou sistema. Para isso são utilizados os seguintes conceitos, com respectiva classificação por ordem crescente do grau de intervenção:

- Manutenção – pequenas intervenções periódicas de manutenção e reparações ocasionais;
- Reabilitação – melhorias sem grandes alterações às características originais dos sistemas do edifício, podendo incluir algumas ações limitadas para recuperar a normalidade ou o mais próximo dela;
- Renovação – reabilitação em grau mais significativo, na qual as implementações de modernizações nos sistemas do edifício são possíveis. A intervenção pode inclusive substituir ou implementar sistemas;
- Reconstrução – caso mais extremo de intervenção, substituindo ou não grande parte dos sistemas. Visa estabelecer a funcionalidade de um edifício arrasado.

A Galeria dos Estados, construção objeto deste estudo, é um conjunto harmônico de edificações com diversas funcionalidades, como o centro comercial com mesmo nome; a estação de metrô, também com mesma

denominação; túnel e passagem de pedestres que servem de ligação entre dos importantes setores (bairros) de Brasília, que são o Setor Bancário Sul (SBS) e Setor de Autarquias Sul (SAS); é uma obra de arte, viaduto, que constitui a principal via de acesso ao Centro de Brasília pelos veículos e ônibus urbanos e interurbanos que transitam entre as áreas Sul, Centro e Norte do Distrito Federal. O Viaduto como dito situa-se na DF-002 (Eixo Rodoviário Sul), conhecido como Viaduto do Eixão.

Figura 1: Imagens da Galeria dos Estados.



Fonte: Google Imagens.

Portanto, há lojas comerciais e de serviços, espaço para feiras e exposições, passagens para transeuntes, interessados aos acessos de embarque e desembarque de transportes urbanos e semiurbanos, tanto metrô como ônibus, ou seja, trata-se de obra de elevado interesse para população do Distrito Federal e do Entorno de Brasília. Trata-se de ambiente de elevado interesse político, pois associações, empresas particulares e órgãos e empresas públicas se envolviam nas causas, consequências e soluções.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para alcançar os objetivos deste trabalho foram estudados projetos,

relatórios, estudos e documentos relacionados ao processo, como projetos de arquitetura e de estrutura da NOVACAP, relatórios do TCDF, DER-DF e IPHAN, bem como participação em reuniões e palestras relacionadas ao processo decisório sobre as opções de arquitetura e estrutura executadas. Também foram realizadas inspeções e visitas aos canteiros de obra e aos locais de produções de elementos e insumos da obra.

3. DESENVOLVIMENTO

Trata-se da recuperação estrutural e de arquitetura do conjunto de elementos estruturais e construtivos que constituem os viadutos sobre a Galeria dos Estados, em Brasília, Distrito Federal. O viaduto, objeto deste estudo, foi construído para a inauguração de Brasília, que ocorreu em 21 de abril de 1960, tendo no momento do colapso de parte de sua estrutura, a idade de 58 anos. Na época, a Norma Técnica utilizada para a elaboração do projeto foi a NB1/1940. Foi possível observar que a ferragem não apresentava ranhura, por exemplo. No período de sua construção, a tecnologia do Concreto Armado encontrava-se em desenvolvimento e não se tinha o domínio pleno do material que o constitui, assim como pouco se conhecia sobre resistência, durabilidade e manutenção. Outro aspecto importante é que o viaduto foi construído para suportar uma carga Trem Tipo TB 36 (36 toneladas), mas normas atuais e demandas reais de uso pedem incremento do suporte de carga para esta via.

A visita técnica foi precedida por aulas que contextualizaram problemas recorrentes em estruturas de edificações e/ou obras de arte por razões como falta de manutenções, por serem mal construídas e/ou por sofrerem danos episódicos.

Figura 2: Vista ortogonal das projeções dos pilares do viaduto.



Fonte: Google Earth.

Os fatos relevantes e precursores do colapso na parte do viaduto do Eixão Sul, assim como os que proporcionaram sua recuperação são a seguir descritos. Na figura 3, a seguir, tem-se a imagem de um dos apoios da parte do tabuleiro de laje que se precipitou no referido evento.

Figura 3: Imagem da estrutura antes do colapso e da atual intervenção.

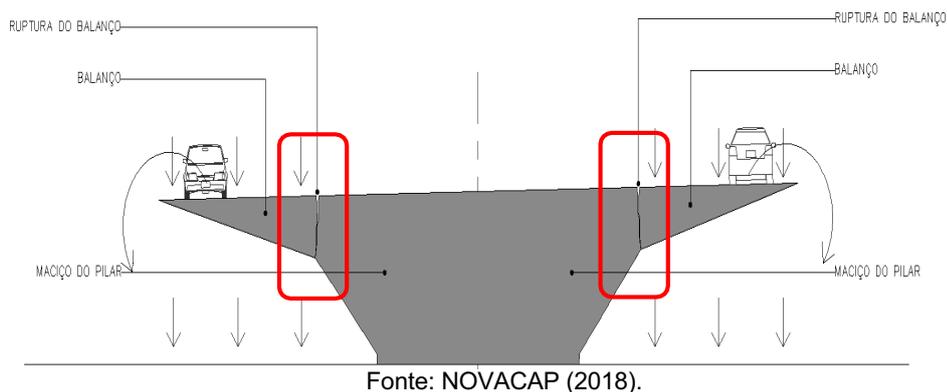


Fonte: Google Earth.

O principal fato documental deste estudo é: O **Relatório do TCDF** de 2011/2012 que apontava problemas de patologias estruturais na referida obra de arte. Destaca-se que este documento decorreu de relatórios de órgãos do próprio Governo do Distrito Federal, como DER e NOVACAP. Todos os estudos técnicos que subsidiaram a licitação culminaram no canteiro de obra ora visitado e relatado. A licitação decorrente do processo o 00113-0007143/2018-11, cuja modalidade foi pregão presencial, número 01/2018, tipo menor valor, resultando na contratação da empresa denominada de Via Engenharia SA. Os fatos principais contribuintes da causa do evento adverso objeto deste estudo são:

Modelo do balanço do pilar: A ruptura ocorreu na região do balanço do pilar, mais precisamente, na transição do maciço do pilar com o balanço propriamente dito. Nesta região não havia ferragem Passiva Suficiente pois o viaduto tinha sido dimensionado com antiga Norma NB1 de 1940, norma omissa a este tipo de armação, apenas concreto e sistema de protensão, conforme ilustrado a seguir:

Figura 4: Esquema do tipo de pilar que colapsou.



Excesso de água nas estruturas: Os modelos de drenagens, as ausências de dispersores eficientes, as ações de recobrimento dos asfaltos sem os cuidados com as drenagens, proporcionaram longos períodos de armazenamento de água no interior das estruturas, com conseqüente agravos às ferragens e às finas peles de cobrimento.

Figura 5: Água acumulada no interior da estrutura mesmo sem chuva.



Modelo estrutural que não permitia inspeções: A estrutura não possuía acesso fácil de inspeções regulares, assim como não possuía instrumentos de controle de qualidade e ou de apresentação de possíveis patologias. Notar na figura 5 que o tabuleiro era fechado por laje, logo não se podia inspecionar as vigotas, transversinas e a própria laje.

Figura 6: Notar os vestígios de oxidação das ferragens.



Fonte: O Autor.

Construções que obstruíam visão (inspeção) dos pilares e vigas: Sob o tabuleiro que se precipitou havia dois comércios que tinham instalações e edículas envolvendo suas vigas e seus pilares, logo, eventuais fissuras, rachaduras e recalques não eram possíveis serem constatadas.

3.1 Evento

O colapso estrutural deu-se em parte do complexo de estruturas que constituem a obra de arte denominada de Viaduto da Galeria dos Estados, na viga que sustentava um dos tabuleiros.

Figura 7: Imagem do momento da queda de partes da estrutura.



Fonte: O Autor.

Figura 8: Vista do local onde o tabuleiro precipitou-se.



Figura 9: Vista oblíqua da parte precipitada do viaduto.



Fonte: O Autor.

As figuras acima permitem observar que o tabuleiro praticamente caiu como uma peça única, apontando para um colapso abrupto da estrutura. Narra-se que a queda foi precedida de um som semelhante a uma explosão. O tabuleiro colapsou-se às 11h43, do dia 6 de fevereiro de 2018, sobre a alça, entre o segundo conjunto de pilares e apoio que estava junto ao maciço de terra.

3.2 Esclarecimentos procedimentais da recuperação

A solução de reversão teve a parte de estudos realizados por equipe multidisciplinar constituída de especialistas e políticos com poderes para tomadas de decisões. A equipe foi estabelecida através do Decreto Distrital número 38.841, de 06 de fevereiro de 2018, que relacionou representantes das seguintes instituições e órgãos, nas condições de membros efetivos e convidados:

- Secretaria de Estado da Casa Civil, Relações Institucionais e Sociais - CC;
- Secretaria de Estado de Infraestrutura e Serviços Públicos - SINESP;
- Secretaria de Estado da Segurança Pública e da Paz Social, por meio da Subsecretaria do Sistema de Defesa Civil;
- Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal - DER/DF;
- Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil - NOVACAP.
- Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Distrito Federal - CREA/DF;
- Universidade de Brasília - UnB;
- Clube de Engenharia de Brasília.

Da equipe de trabalho resultou a decisão sobre as possibilidades de soluções construtivas. Esta equipe analisou os trabalhos parciais de membros e convidados da equipe.

A Universidade de Brasília – UNB (2018) posicionou-se, por meio de Nota Técnica 01/2018, pela demolição completa do viaduto, ou seja, os 192 metros lineares que compunham os tabuleiros do viaduto.

O Conselho Regional de Engenharia e Agronomia - CREA-DF apontou pela recuperação estrutural da referida obra de arte, apresentando Relatório Técnico com análise estrutural completa do viaduto.

O Departamento de Estrada de Rodagem - DER-DF e a Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil - NOVACAP apresentaram uma solução mista, recomendando um alargamento do pilar com execução de novas fundações e propuseram a recuperação das lajes do tabuleiro (pista de rolagem), sem alterar a escala do viaduto.

O DER-DF e a NOVACAP propuseram ainda, a substituição das galerias de águas pluviais por drenagem direta para evitar-se eventual acúmulo de águas pluviais e possíveis infiltrações na estrutura da obra de arte recuperada.

Em razão de encontrar-se tombada pelo patrimônio histórico do Brasil, a obra de arte em estudo, para sua reforma, requeria o atendimento da legislação afeta, ou seja, o Decreto Lei Federal de número 25, de 30 de novembro de 1937, que versa sobre a competência do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN, que entre outras, deve emitir parecer sobre eventuais alterações em equipamento tombado. O IPHAN (2018), através do Parecer Técnico 48/2018, descreveu o viaduto da seguinte forma:

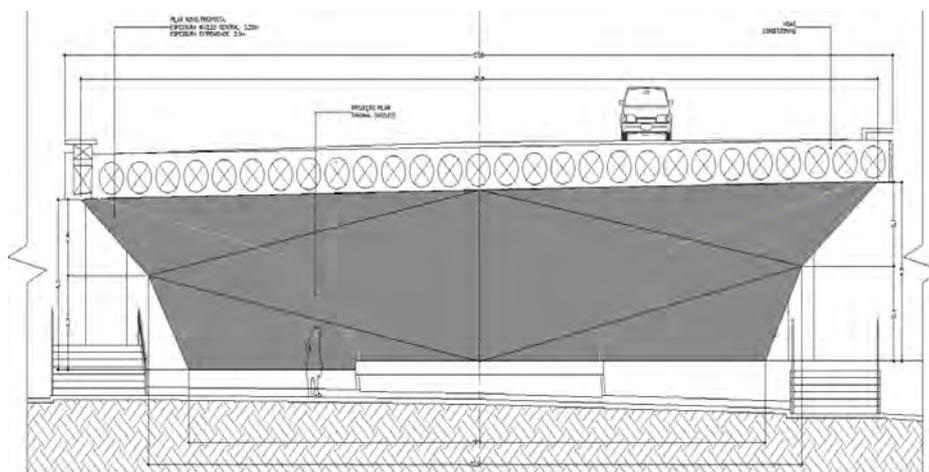
Conjunto viário complementar à Plataforma Rodoviária em sua extremidade sul, no trecho correspondente ao viaduto do Eixo Rodoviário (DF 002) sobre a Galeria dos Estados, situado na área central do Conjunto Urbanístico de Brasília, bem integrante do patrimônio cultural brasileiro por meio de tombamento federal em 14/03/1990 - inscrito no Livro do Tombo Histórico sob nº 532 e reconhecido pela Unesco como Patrimônio Mundial, em 11 de dezembro de 1987.

No Parecer Técnico número 48/2018 o IPHAN aprova a proposta mista da NOVACAP/DER, em razão disto. A equipe nomeada em Diário Oficial do Distrito Federal aprova a concepção arquitetônica e estrutural que opta pela solução mista, ou seja, demolição e reconstituição parcial da arquitetura e da estrutura do viaduto e edificações relacionadas.

3.2.1 Projeto de recuperação

Do projeto aprovado destacam-se o seguinte: O pilar foi alargado para garantir a segurança estrutural, motivado pelo aparelho de apoio, que passa a ser colocado em posição que facilita o eventual acesso de equipamentos, como macacos hidráulicos, viabilizando eventual substituição e reparos ao longo do tempo. Esta ação corrige o fato de o aparelho de apoio encontrar-se oculto, na parte interna do pilar, entre a viga e a laje alveolar, impedindo a sua vistoria ou mesmo a sua troca. O novo modelo do pilar também contribui para eliminar esforços indesejados que ocorriam devido o modelo de balanço adotado na concepção inicial.

Figura 10: Novo pilar tipo aprovado.



Fonte: NOVACAP (2018).

Figura 11: Vista em perspectiva do novo projeto da obra de arte.



Fonte: NOVACAP (2018).

Basicamente, no que se refere à estrutura, tem-se que dos **pilares** originais foram aproveitados somente o seu núcleo central, pois não apresentavam patologias graves e, após análises e inspeções, foram considerados seguros.

Os formatos originais dos pilares foram alterados sendo os mesmos alargados. Eliminando-se, o trecho de viga em balanço. Portanto o pilar foi ampliado com colocação de novas fundações do tipo Tubulão. Todo carregamento proveniente dos veículos e do peso próprio da estrutura foram dirigidos diretamente para os pilares alargados. O projeto de reforço buscou atender às novas exigências da atual NBR 6118/2014, com aumento de recobrimento das armaduras nas peças estruturais, buscando ampliar a vida útil do conjunto do viaduto, aumentando a sua durabilidade.

Os tabuleiros das lajes foram refeitos, colocando-se novas armaduras de proteção. Todo sistema foi feito com escoramento permanente durante a sua construção.

3.2.2 Observações na execução da recuperação

A execução da reforma foi conduzida de forma compartilhada entre uma equipe de engenharia, arquitetura e urbanismo da empresa contratada, através do Pregão presencial nº 001/2018 do DER-DF e uma Equipe de engenheiros e arquitetos representantes do Distrito Federal, em especial do Departamento de Estradas de Rodagem – DER-DF, nomeados através do processo 037/2018 do DER-DF e houve apoio técnico de equipe da NOVACAP.

Na figura 12 mostra-se o pilar aumentado em suas dimensões, notadamente mais robusto, a laje que se apresenta, na imagem abaixo, com menos vazios e com vigotas (nervuras), também robustas. Nas figuras a seguir é possível verificar as soluções de apoio da estrutura.

Figura 12: Vista da nova estrutura, que recebe diretamente o tabuleiro.



Fonte: O Autor.

Figura 13: Encabeçamento e tensores das vigas das lajes.

Fonte: O autor.

A capacidade de carga do Viaduto também foi ampliada. Inicialmente, no final dos anos 50, o viaduto foi projetado para suportar somente um TB36, correspondente 360KN. Com o novo reforço a capacidade de suporte foi aumentada para o TB45 (450KN), permitindo assim o tráfego de veículos mais pesados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A recuperação deste viaduto enfrentou desafios técnicos e políticos para sua aprovação e realização, pois envolveu interesses diversos e características construtivas restritivas, pois a instância política para tomada de decisão pressionava as soluções técnicas apresentadas. As soluções técnicas tinham crivos de órgãos de controle e de gestão de patrimônio, requerendo elevada capacidade técnica e especializada dos profissionais envolvidos, tanto para convencimento dos agentes políticos como os especialistas em patrimônio, arquitetura, urbanismo e engenharia. A solução de recuperação foi mista, recepcionando partes de propostas de diversas instituições e órgãos públicos. O processo de recuperação foi conduzido pela administração pública e indiretamente executado por empresa particular contratada. O resultado foi um projeto que atualizava os conceitos de segurança estrutural, pois ampliou-se cada elemento estrutural importante, pilares, viga e laje, aumentando-se os coeficientes de segurança, permitindo-se inspeções e eventuais substituições de peças, ou seja, acrescentando-se mecanismos práticos de manutenções e

reparos, itens dificultados pelo modelo conceutivo anterior.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei n.º 8666, de 21 de junho de 1993**. Institui normas para licitações e contratos da Administração Pública, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.servidor.gov.br/arq_editaveis/pdf/legislação/Lei%208666Consolidada.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2001.

DEPEN, Departamento de Engenharia - **Patrimônio Histórico Edificado: Revitalizar para Preservar**. Brasília: ECT, 1995.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes**, 1ª ed. Brasília, DF, 2017, 84 p.

TCDFT. Tribunal de Contas do Distrito Federal. **Relatório de Auditoria: Avaliação da Destinação de Recursos para Obras em Andamento e os Procedimentos Afetos às Atividades de Manutenção dos Bens Públicos**. Brasília, DF, 2012.

TRINDADE, R. S. D. **Gestão de Edifícios - Análise Comportamental Através da Interpretação de Dados Históricos**. [s.l.] Faculdade de Engenharia do Porto, 2011.

UNB. Universidade de Brasília. **Nota Técnica ENC/UNB – N°001-2018 de 07 de março de 2018**. Análise Técnica das Causas do Desabamento Parcial da Estrutura do Viaduto Sobre a Galeria dos Estados – Brasília – DF.

Sites visitados

<https://noticias.unb.br/112-extensao-e-comunidade/2113-unb-recomenda-demolicao-de-viaduto-no-eixao-sul>.

Parecer do Iphan
file:///C:/Users/1745%20MX/Downloads/PP_001_2018.1533321222361.pdf.

Site da CONDEPHAAT/Secretaria de Estado da Cultura/Governo do Estado de São Paulo: <http://www.condephat.sp.gov.br>.

Site do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Cidades@:
<http://www.ibge.gov.br>.

https://www.google.com/search?q=imagens+da+galeria+dos+estados&client=google-mail&rls=aso&authuser=0&sxsr=ACYBGNRbi7Rrofq17lt_VZmLNQPq6umhtg:1574850164348&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=VVU6clm3drORIM%253A%25

Tema 3: Tecnologia de Produção do Ambiente Construído

XVI – Degradação e Processo de Recuperação de Obra de Infraestrutura: Viaduto Galeria dos Estados

2CJzUOWjQAvpei-M%252C_&vet=1&usg=AI4_-kSgCjINI3_94Pt-N6zzUo0QRYcglg&sa=X&ved=2ahUKEwir-PqElormAhWdEbkGHYJSBOAQ9QEwAHoECAkQBg#imgrc=s8hxtpsTiVTROM:&vet=1https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2018/03/07/interna_cidadesdf,664521/unb-recomenda-demolicao-total-de-viaduto-sobre-galeria-dos-estados.shtml.

<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2018/03/08/analise-de-especialista-escolhido-pelo-crea-df-aponta-para-recuperacao-do-viaduto-da-galeria-dos-estados/>.

