

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: Vice-Reitor: Decana de Pesquisa e Inovação: Decanato de Pós Graduação:	Márcia Abrahão Moura Henrique Huelva Maria Emília Machado Telles Walter Lucio Remuzat Rennó Junior
Diretor da FAU Vice Diretoria da FAU Coordenadora de Pós-Graduação: Coordenadora do LaSUS: Coordenador do LaBRAC:	FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO - UnB Marcos Thadeu Queiroz Magalhães Cláudia da Conceição Garcia Luciana Saboia Fonseca Cruz Marta Adriana Bustos Romero João da Costa Pantoja
Coordenação de Produção Editorial, Preparação, Revisão e Diagramação: Capa:	João Vitor Lopes Lima Farias 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

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.

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 “Tarcíla”. 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, acalmado 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,

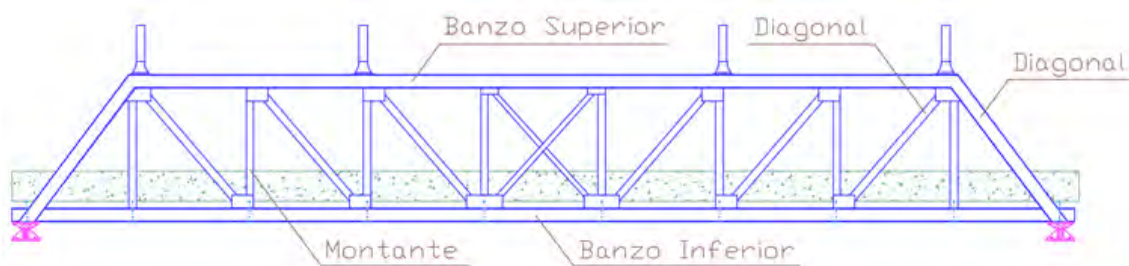
consequentemente, aumentando a rigidez da conexão. A rebiteagem a frio, por outro lado, é efetuada por martelamento simples, sem utilizar qualquer fonte de calor.

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).

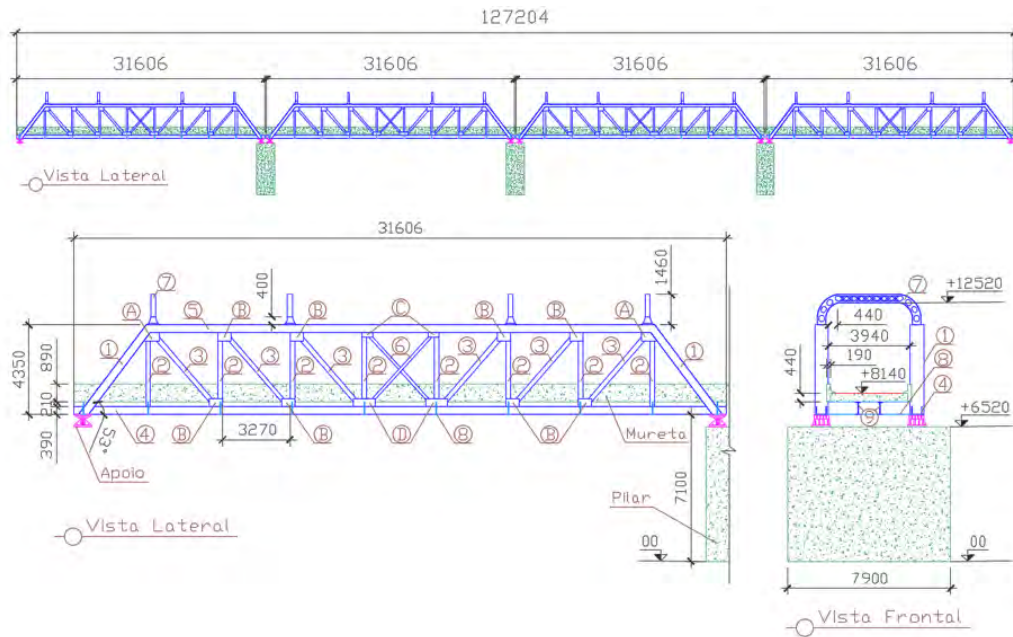
Figura 3: Treliça plana adotada no modelo estrutural da Ponte de Ferro com as denominações dos seus elementos.



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.

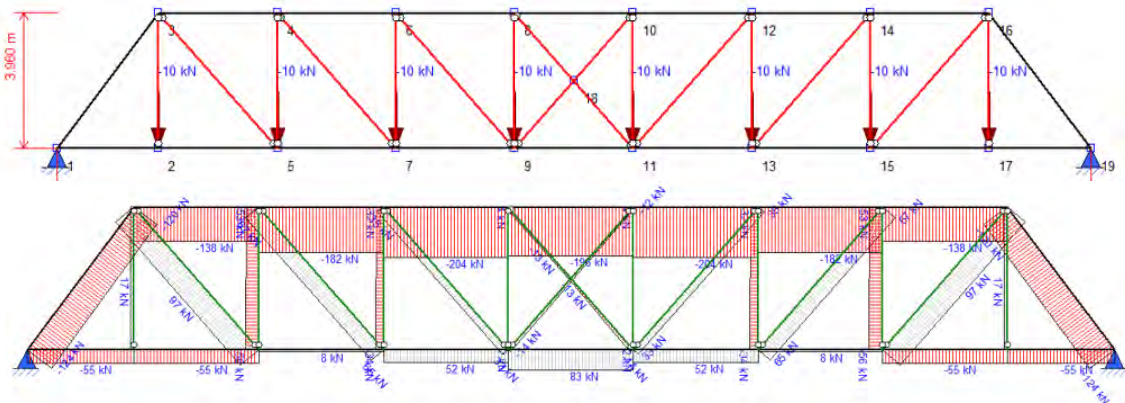
Para tal, tomou-se como base o trecho da ponte que se repete ao longo de sua estrutura. Utilizou-se perfis com a geometria correspondente aos elementos da ponte, levantada no local da obra e o aço padrão ASTM A36, material com características mecânicas semelhantes ao utilizado. Para a análise do comportamento 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).

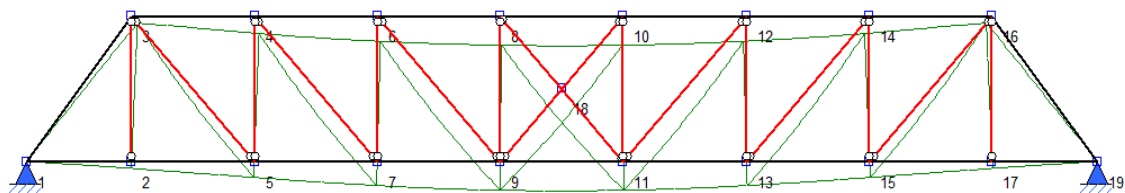
Figura 6: Modelo estrutural da treliça da Ponte de Ferro no sistema Trame, a) cotas entre os eixos dos elementos estruturais, indicação das cargas e numeração dos nós, b) diagrama dos esforços de tração (positivos) e de compressão (negativos).



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.

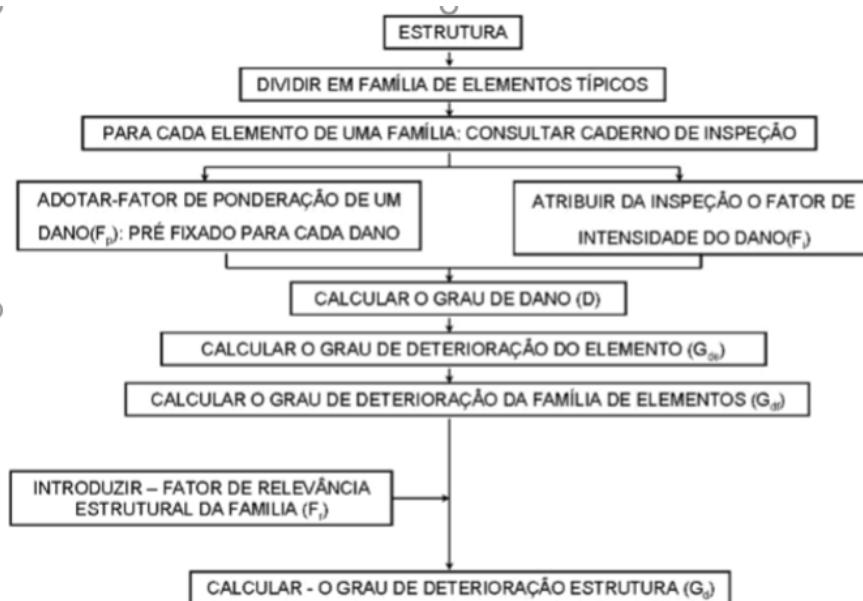


Fonte: Autor (2019).

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.



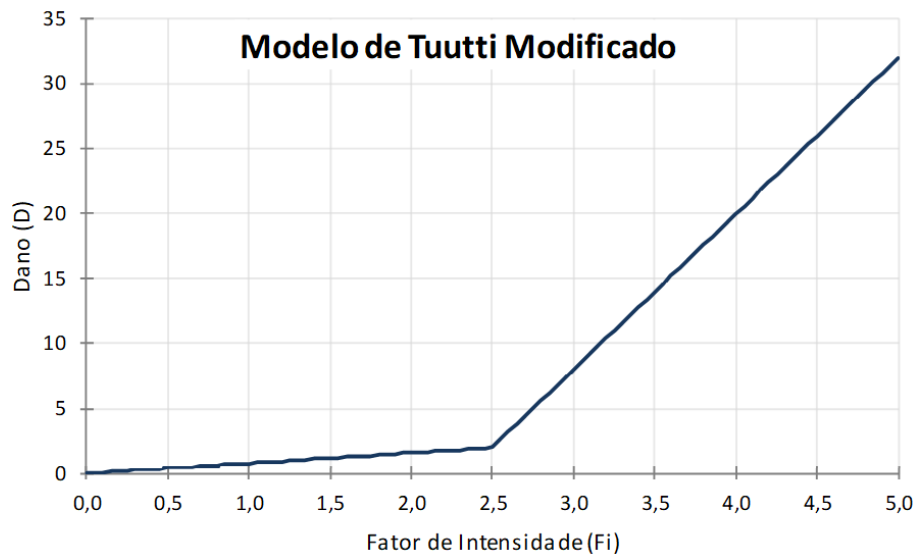
Fonte: Boldo (2002).

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.

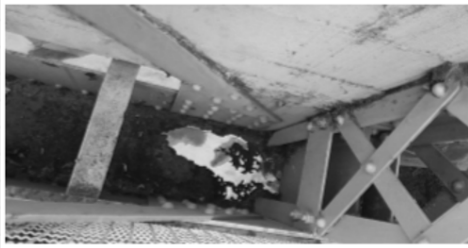
Figura 11: Resultados da metodologia GDE/UnB aplicado no trecho vistoriado da estrutura da Ponte de Ferro.

Grau de deterioração das famílias (Gdf)					Grau de deterioração da estrutura (Gd)	
Família	F_r	$G_{de}(máx)$	ΣG_{de}	G_{df}	157	
Apoios	5	114	509	152	Nível	5 Crítico
Banzos	5	163	348	202	Recomendação:	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.
Montantes	3	14	169	20		
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			Gde > 100 = Crítico (inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata)

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).

