

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ALESSANDRA LICONTI VARGAS

**VISTORIA DE PONTES COM CÂMERAS DE ALTA RESOLUÇÃO: ESTUDO DE
CASO**

Alegrete

2024

ALESSANDRA LICONTI VARGAS

VISTORIA DE PONTES COM CÂMERAS DE ALTA RESOLUÇÃO: ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Alisson Simonetti Milani

Coorientador: Diego Arthur Hartmann

**Alegrete
2024**

ALESSANDRA LICONTI VARGAS

VISTORIA DE PONTES COM CÂMERAS DE ALTA RESOLUÇÃO: ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 03 de julho de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. ALISSON SIMONETTI MILANI - UNIPAMPA - Orientador

Prof. Dr. DIEGO ARTHUR HARTMANN - UNIPAMPA - Coorientador

Profa. Dra. SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO - UNIPAMPA

Prof. Dr. JAELSON BUDNY - UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **JAELSON BUDNY, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/07/2024, às 08:36, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALISSON SIMONETTI MILANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/07/2024, às 08:39, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **DIEGO ARTHUR HARTMANN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/07/2024, às 09:42, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/07/2024, às 13:37, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1490754** e o código CRC **C6E8C901**.

RESUMO

Atualmente, a infraestrutura rodoviária brasileira enfrenta deficiências significativas no que diz respeito à gestão de pontes e viadutos, bem como à realização sistemática de inspeções e manutenções, que são raras. Esta situação tem agravado o processo de deterioração dessas estruturas. Este estudo propôs realizar uma vistoria utilizando câmeras de alta resolução, com o objetivo catalogar as manifestações patológicas encontradas nos componentes estruturais do vão 01 da ponte Borges de Medeiros sobre o rio Ibirapuitã, situada no município de Alegrete, no Rio Grande do Sul. Além disso, buscou-se verificar a aplicabilidade da norma brasileira ABNT NBR 9452:2023, como também identificar as causas dessas manifestações e propor soluções viáveis. Foram realizadas fotografias das vigas, pilar, encontro e parte inferior do tabuleiro da ponte, as quais foram posteriormente analisadas por meio de dois *softwares* diferentes para avaliar a condição da estrutura. As principais patologias observadas incluíram infiltração de água na laje, deterioração do concreto e exposição de armaduras na parte inferior do tabuleiro. A falta de manutenção contínua e as dificuldades de acesso foram fatores cruciais que influenciaram negativamente o estado atual da ponte, que, devido à sua idade avançada, não foi concebida com facilidades para manutenções futuras. A análise revelou que a norma ABNT NBR 9452:2023 apesar de recente, é limitada e não abrange diversas patologias identificadas. O uso de câmeras analógicas mostrou-se útil para fins de documentação e melhor visualização das anomalias, mas não suficientes, por si só, para uma classificação precisa da situação estrutural das pontes. Este estudo reforça a necessidade urgente de uma mudança de perspectiva, adotando abordagens mais preventivas em relação à manutenção de pontes e viadutos no Brasil. A implementação de práticas de manutenção preventiva e a adoção de tecnologias modernas são essenciais para garantir a segurança e prolongar a vida útil dessas estruturas de maneira econômica, contribuindo assim para a infraestrutura nacional.

Palavras-chave: Pontes. Vistoria. Manifestações patológicas. Manutenção. Câmeras.

ABSTRACT

Currently, Brazilian road infrastructure faces significant deficiencies with regard to the management of bridges and viaducts, as well as the systematic carrying out of inspections and maintenance, which are rare. This situation has worsened the deterioration process of these structures. This study proposed to carry out an inspection using high-resolution cameras, with the aim of cataloging the pathological manifestations found in the structural components of span 01 of the Borges de Medeiros bridge over the Ibirapuitã river, located in the municipality of Alegrete, in Rio Grande do Sul. Furthermore, it was sought to verify the applicability of the Brazilian standard ABNT NBR 9452:2023, as well as identify the causes of these manifestations and propose viable solutions. Photographs were taken of the beams, pillar, abutment and lower part of the bridge deck, which were subsequently analyzed using two different software programs to assess the condition of the structure. The main pathologies observed included water infiltration into the slab, deterioration of the concrete and exposure of reinforcement in the lower part of the deck. The lack of continuous maintenance and access difficulties were crucial factors that negatively influenced the current state of the bridge, which, due to its advanced age, was not designed with facilities for future maintenance. The analysis revealed that the ABNT NBR 9452:2023 standard, despite being recent, is limited and does not cover several identified pathologies. The use of analog cameras proved to be useful for documentation purposes and better visualization of anomalies, but not sufficient, in itself, for an accurate classification of the structural situation of the bridges. This study reinforces the urgent need for a change in perspective, adopting more preventive approaches in relation to the maintenance of bridges and viaducts in Brazil. The implementation of preventive maintenance practices and the adoption of modern technologies are essential to ensure the safety and extend the useful life of these structures in an economical way, thus contributing to the national infrastructure.

Keywords: Bridges. Survey. Pathological manifestations. Maintenance. Cameras.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais componentes de uma ponte.....	13
Figura 2 - Eflorescência em viga.....	23
Figura 3 - Corrosão das armaduras.....	24
Figura 4 - Pilar de concreto armado sob o efeito da carbonatação.....	25
Figura 5 - Desagregação do concreto.....	26
Figura 6 - Disgregação do concreto.....	27
Figura 7 - Segregação do concreto.....	28
Figura 8 - Erosão do Concreto.....	28
Figura 9 - Reação álcali agregado.....	29
Figura 10 - Aparelho de apoio elastomérico esmagado.....	30
Figura 11 - Tipos de corrosão.....	31
Figura 12 - Corrosão uniforme em ponte.....	31
Figura 13 - Corrosão galvânica.....	32
Figura 14 - Corrosão por pites.....	33
Figura 15- Corrosão alveolar.....	33
Figura 16 - Corrosão fresta entre tubulação e perfil metálico suporte.....	34
Figura 17 - Corrosão em placas.....	34
Figura 18 - Drone modelo DJI AIR 2S.....	39
Figura 19 - Nikon COOLPIX P900 Black.....	40
Figura 20 - Canon T5i.....	40
Figura 21 - Vista superior da Ponte Borges de Medeiros.....	41
Figura 22 - Vista geral da Ponte Borges de Medeiros.....	41
Figura 23 - Vista inferior do tabuleiro suportado por vigas longarinas e transversinas.....	42
Figura 24 - Encontro 01.....	42
Figura 25 - Encontro 02.....	43
Figura 26 - Nomenclatura dos elementos.....	45
Figura 27- Tubulação de esgoto ao lado da viga 09.....	46
Figura 28 - Anomalias na viga longarina L01 Montante.....	48
Figura 29 - L01 Montante - Corrosão mais avançada.....	48
Figura 30 - L01 Montante - Corrosão por pites generalizada.....	49
Figura 31 - Anomalias na viga L01 Jusante.....	49
Figura 32 - Anomalias na viga L02 Montante.....	50

Figura 33 - L02 Montante - Corrosão alveolar.....	50
Figura 34 - L02 Montante - Corrosão mais avançada	50
Figura 35 - L02 Montante - Corrosão por pites generalizada.....	51
Figura 36 - L02 Montante - Descascamento por corrosão	51
Figura 37 - Anomalias na viga L02 Jusante	51
Figura 38 - L02 Jusante - Corrosão por pites	52
Figura 39 - L02 Jusante - Descascamento por corrosão.....	52
Figura 40 - Anomalias na viga L03 Montante.....	52
Figura 41 - L03 Montante - Corrosão alveolar.....	53
Figura 42 - L03 Montante - Corrosão mais avançada	53
Figura 43 - L03 Montante - Corrosão por pites generalizada.....	53
Figura 44 - L03 Montante - Descascamento por corrosão	54
Figura 45 - Anomalias na viga L03 Jusante	54
Figura 46 - L03 Jusante - Corrosão mais avançada.....	55
Figura 47 - L03 Jusante - Corrosão por pites generalizada	55
Figura 48 - Anomalias na viga L04 Montante.....	55
Figura 49 - L04 Montante - Corrosão alveolar.....	56
Figura 50 - L04 Montante - Corrosão mais avançada	56
Figura 51 - L04 Montante - Corrosão por pites generalizada por toda extensão da viga.....	56
Figura 52 - L04 Montante - Descascamento por corrosão	57
Figura 53 - Anomalias na viga L04 Jusante	57
Figura 54 - L04 Jusante - Corrosão alveolar	57
Figura 55 - L04 Jusante - Corrosão mais avançada.....	58
Figura 56 - Anomalias na viga L05 Montante.....	58
Figura 57 - L05 Montante - Corrosão alveolar.....	58
Figura 58 - L05 Montante - Corrosão mais avançada	59
Figura 59 - L05 Montante - Corrosão por pites generalizada.....	59
Figura 60 - L05 Montante - Descascamento por corrosão	59
Figura 61 - Anomalias na viga L05 Jusante	60
Figura 62 - L05 Jusante - Corrosão mais avançada.....	60
Figura 63 - L05 Jusante - Corrosão por pites generalizada	60
Figura 64 - L05 Jusante - Descascamento por corrosão.....	60
Figura 65 - Anomalias na viga L06 Montante.....	61
Figura 66 - L06 Montante - Corrosão alveolar.....	61

Figura 67 - L06 Montante - Corrosão mais avançada	61
Figura 68 - L06 Montante - Corrosão por pites generalizada.....	62
Figura 69 - L06 Montante - Descascamento por corrosão	62
Figura 70 - Anomalias na viga L06 Jusante	62
Figura 71 - L06 Jusante - Corrosão alveolar	63
Figura 72 - L06 Jusante - Corrosão mais avançada.....	63
Figura 73 - L06 Jusante - Corrosão por pites	63
Figura 74 - L06 Jusante - Corrosão por pites generalizada	63
Figura 75 - L06 Jusante - Descascamento por corrosão	64
Figura 76 - Anomalias na viga L07 Montante.....	64
Figura 77 - L07 Montante - Corrosão alveolar.....	64
Figura 78 - L07 Montante - Corrosão mais avançada	65
Figura 79 - L07 Montante - Corrosão por pites generalizada.....	65
Figura 80 - Anomalias na viga L07 Jusante	65
Figura 81 - L07 Jusante - Corrosão alveolar	66
Figura 82 - L07 Jusante - Corrosão mais avançada.....	66
Figura 83 - L07 Jusante - Corrosão por pites generalizada	66
Figura 84 - Anomalias na viga L08 Montante.....	67
Figura 85 - L08 Montante - Corrosão alveolar.....	67
Figura 86 - L08 Montante - Corrosão mais avançada	67
Figura 87 - L08 Montante - Corrosão por pites.....	68
Figura 88 - L08 Montante - Corrosão por pites generalizada.....	68
Figura 89 - L08 Montante - Descascamento por corrosão	68
Figura 90 - Anomalias na viga L08 Jusante	69
Figura 91 - L08 Jusante - Corrosão alveolar	69
Figura 92 - L08 Jusante - Corrosão mais avançada.....	69
Figura 93 - L08 Jusante - Corrosão por pites	70
Figura 94 - L08 Jusante - Corrosão por pites generalizada	70
Figura 95 - L08 Jusante - Descascamento por corrosão	70
Figura 96 - Anomalias na viga L09 Jusante	71
Figura 97 - L09 Jusante - Corrosão mais avançada.....	71
Figura 98 - L09 Jusante - Corrosão por pites generalizada	71
Figura 99 - Anomalias na viga T01AB.....	72
Figura 100 - T01AB - Corrosão alveolar.....	72

Figura 101 - T01AB - Corrosão mais avançada	72
Figura 102 - T01AB - Corrosão por pites generalizada	73
Figura 103 - Anomalias no tabuleiro T02AB	73
Figura 104 - T02AB - Corrosão alveolar.....	74
Figura 105 - T02AB - Corrosão mais avançada	74
Figura 106 - T02AB - Corrosão por pites generalizada	74
Figura 107 - T02AB - Descascamento por corrosão	74
Figura 108 - Anomalias na viga transversina T02VA.....	75
Figura 109 - T02VA - Corrosão alveolar e corrosão por pites.....	75
Figura 110 - T02VA - Corrosão mais avançada.....	76
Figura 111 - T02VA - Corrosão por pites generalizada	76
Figura 112 - T02VA - Descascamento por corrosão.....	76
Figura 113 - Anomalias na viga transversina T03VA.....	77
Figura 114 - T03VA - Corrosão por pites generalizada	77
Figura 115 - T03VA - Descascamento por corrosão.....	77
Figura 116 - Vista inferior do tabuleiro com diversas manifestações patológicas identificadas	82
Figura 117 - Deslocamento do concreto e corrosão das armaduras - detalhe 1.....	83
Figura 118 - Deslocamento do concreto e corrosão das armaduras - detalhe 2.....	83
Figura 119 - Deslocamento do concreto e corrosão das armaduras - detalhe 3.....	84
Figura 120 - Deslocamento do concreto e corrosão das armaduras - detalhe 4.....	84
Figura 121 - Manchas de infiltração no tabuleiro - detalhe 1.....	86
Figura 122 - Manchas de infiltração no tabuleiro - detalhe 2.....	87
Figura 123 - Pilar de concreto com pontos de segregação	88
Figura 124 - Segregação do concreto	88
Figura 125 – Pilar em alvenaria com camada de reforço de argamassa armada	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Origem das manifestações patológicas em relação às etapas de produção e uso das obras civis	17
Gráfico 2 - Preferência de imagens: NIKON x CANON	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipologia de Pontes	14
Quadro 2 - Fissuras de origem estrutural	20
Quadro 3 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade	36
Quadro 4 - Anomalias encontradas nas vigas da ponte	47
Quadro 5 - Ficha de identificação de manifestações patológicas	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo Geral.....	12
1.2	Objetivos específicos	12
2	Revisão da literatura.....	13
2.1	Pontes.....	13
2.2	Patologia das Estruturas.....	16
2.2.1	Vida Útil e Durabilidade.....	18
2.2.2	Manifestações Patológicas em Pontes de Concreto Armado.....	18
2.2.3	Manifestações patológicas em estruturas de aço	30
2.3	Inspeção em Pontes.....	35
3	METODOLOGIA	39
3.1	Estrutura da Ponte	41
3.2	Procedimentos.....	44
4	Resultados	46
4.1	Vigas longarinas	47
4.2	Vigas transversinas	72
4.3	Possíveis causas das manifestações patológicas nas vigas	79
4.4	Soluções propostas para as manifestações patológicas nas vigas.....	80
4.5	Tabuleiro.....	81
4.6	Possíveis causas das manifestações patológicas no tabuleiro.....	84
4.7	Soluções propostas para as manifestações patológicas no tabuleiro	85
4.8	Demais Elementos	87
4.9	Classificação pela Norma NBR 9452:2023	89
4.10	Análise das Câmeras utilizadas.....	90
5	Conclusões	92
	REFERÊNCIAS	94

APÊNDICE A – FICHA DE ORGANIZAÇÃO PARA VISTORIA	97
---	----

1 INTRODUÇÃO

Na rede rodoviária brasileira, há pontes de diferentes idades projetadas e dimensionadas de acordo com critérios variados, que precisam suportar um tráfego cada vez maior de cargas móveis, frequentemente com sobrecargas em relação ao previsto no projeto. Existe também um número significativo de obras construídas com sistemas estruturais obsoletos, utilizando materiais não mais usados atualmente (DNIT, 2004).

Atualmente, essa malha rodoviária brasileira não possui sistemas de gestão para as suas pontes e viadutos, e a maioria não possui procedimentos sistemáticos de inspeção e manutenção, exceto por raras exceções. Esse cenário tem levado a um agravamento do quadro de deterioração dessas estruturas, tendo sido constatado até mesmo casos de estruturas próximas a ruína estrutural (Vitório, 2006).

A ausência de políticas e estratégias voltadas para a manutenção das obras públicas, em todas as esferas governamentais, federal, estadual e municipal, resultou em uma falta de preocupação do setor público responsável pelas obras viárias no Brasil em investir na conservação das pontes, focando quase exclusivamente na execução de novas pontes e viadutos. Essa negligência tem acarretado em riscos significativos para a segurança e funcionalidade dessas obras, visto que com o passar do tempo, essas pontes envelhecem e começam a apresentar manifestações patológicas decorrentes do desgaste, comprometendo a sua integridade. Além das questões relacionadas à segurança, a ausência de políticas de conservação também resulta em prejuízos financeiros diretos. Isso ocorre em razão dos custos em reparos e reconstruções dessas pontes e viadutos serem consideravelmente maiores em comparação com os valores que poderiam ter sido investidos em manutenção (Vitório, 2002, 2006).

Considerando a importância da implementação de manutenção preventiva em pontes e viadutos no Brasil, este estudo propõe o uso de câmeras de alta resolução em vistorias dessas estruturas, analisando sua eficácia. Para isso, utilizou-se o vão 01 da Ponte Borges de Medeiros, localizada sobre o rio Ibirapuitã, no município de Alegrete, Rio Grande do Sul, como ponto de estudo. Além disso, pretende-se catalogar as manifestações patológicas encontradas nos elementos estruturais da ponte, buscando compreender suas causas e possíveis soluções. A inspeção foi limitada ao vão 01 devido à quantidade de elementos, à dificuldade de acesso e ao tempo disponível.

1.1 Objetivo Geral

Realizar uma vistoria na Ponte Borges de Medeiros sobre o rio Ibirapuitã utilizando câmeras de alta resolução, com o objetivo de identificar e documentar as manifestações patológicas presentes na estrutura.

1.2 Objetivos específicos

- Verificar a aplicabilidade da classificação segundo a norma brasileira NBR 9452 (ABNT, 2023) ao presente caso;
- Identificar possíveis causas para as manifestações patológicas observadas;
- Propor soluções para as manifestações patológicas identificadas;

2 REVISÃO DA LITERATURA

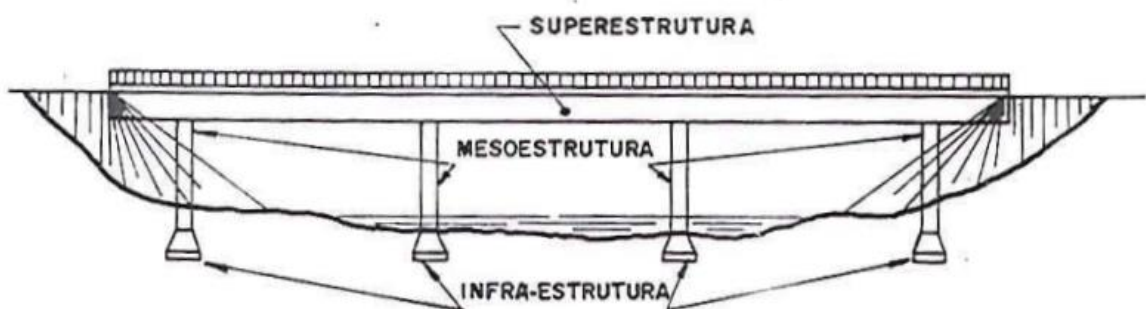
2.1 Pontes

São intituladas de pontes as obras que têm como objetivo o transpasse de obstáculos, tais como: rios, braços de mar, vales profundos ou mesmo outras vias. Quando o obstáculo em questão for um corpo hídrico, é propriamente denominado como ponte; quando não for, é denominado como viaduto (Pfeil, 1979). A NBR 9452 (ABNT, 2023) nomeia essas pontes e viadutos como Obras de Arte Especiais (OAE's).

De acordo com Pfeil (1979) e Marchetti (2008), a estrutura de uma ponte pode ser categorizada em três componentes principais, ilustrados na Figura 1, sendo eles:

- Superestrutura: é composta por vigas e lajes e corresponde a porção superior da ponte, responsável por receber a carga do tráfego e transmiti-la para os elementos inferiores da estrutura;
- Mesoestrutura: é constituída pelo conjunto de pilares, responsáveis por receber as cargas provenientes da superestrutura, bem como as cargas geradas pela pressão do vento e da água, e transmiti-las para a infraestrutura da ponte;
- Infraestrutura: corresponde a fundação da ponte, que tem como objetivo receber todas as cargas transmitidas da mesoestrutura e transmiti-las para o solo. Pode ser constituída por tubulões, sapatas, blocos ou estacas, dependendo das características do solo e das cargas recebidas.

Figura 1 - Principais componentes de uma ponte



Fonte: Pfeil (1979, p. 10)

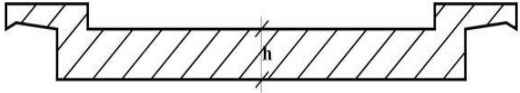
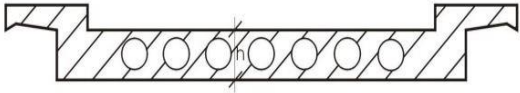

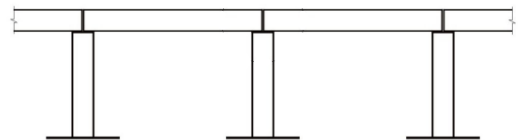

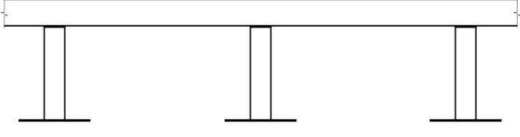
Segundo Vitório (2002), as pontes podem ser classificadas de acordo com sua finalidade, o tipo de material utilizado e o sistema construtivo adotado.

Para Pfeil (1979), em relação a sua finalidade, elas podem ser classificadas como rodoviárias, ferroviárias, para pedestres (passarelas) ou ainda, serem destinadas ao suporte de tubulações.

De acordo com Vitório (2002), quanto ao tipo de material usado, as pontes podem ser de madeira, de pedra, pré-moldada, metálicas e de concreto armado ou protendido. Existem também pontes mistas, que são compostas por mais de um tipo de material.

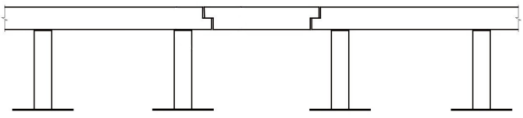
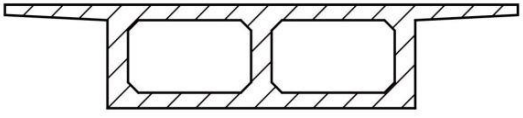


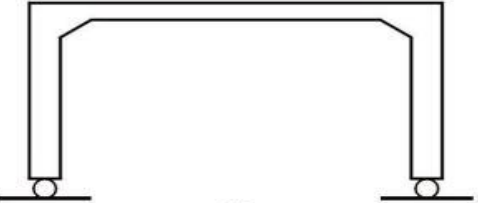
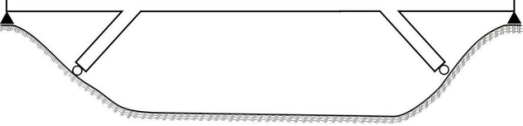
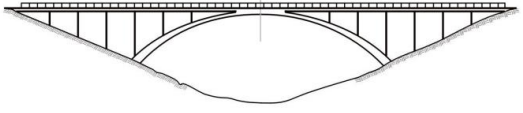
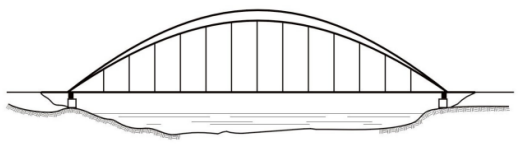
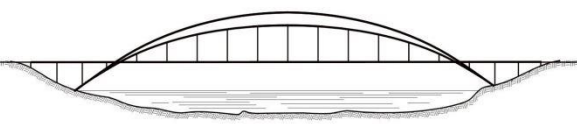
No que se refere ao sistema construtivo, conforme Vitório (2002), as pontes apresentam diversas tipologias, estando elas mencionadas e representadas no Quadro 1:

Quadro 1 - Tipologia de Pontes

Tipologia	Seção Transversal
Ponte em Laje Maciça	
Ponte em Laje Oca	
Ponte em Viga Simplesmente Apoiada com um Único Vão	
Ponte em Viga Simplesmente Apoiada com Diversos Vãos	
Ponte em Viga Simplesmente Apoiada com Apoios em Balanço	
Ponte em Viga Contínua	

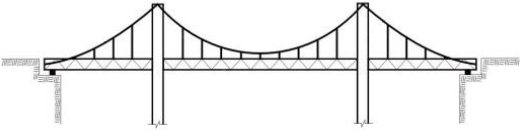
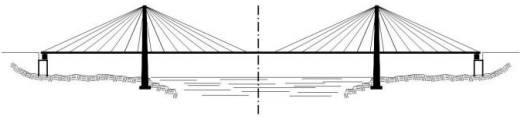
Continua

Continuação

Tipologia	Seção Transversal
Ponte em Viga Gerber	
Ponte em Estrado Celular	
Ponte em Grelha	
Ponte em Pórtico Biengastado	
Ponte em Pórtico Biarticulado	
Ponte em Pórtico Biarticulado com Montantes Inclinados	
Ponte em Arco com Tabuleiro Superior	
Ponte em Arco com Tabuleiro Inferior	
Ponte em Arco com Tabuleiro Intermediário	

Continua

Conclusão

Tipologia	Seção Transversal
Pontes Pênséis	
Pontes Estaiadas	

Fonte: Adaptado de Vitório (2002)

2.2 Patologia das Estruturas

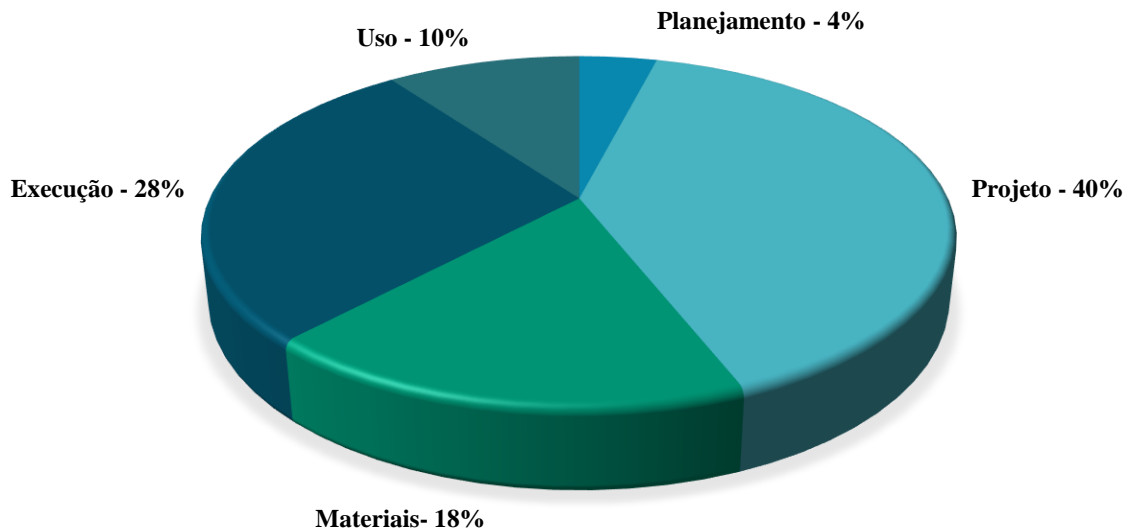
Desde a antiguidade, a humanidade tem se dedicado à construção de estruturas que se adaptem às suas necessidades, sejam elas habitacionais, laborais ou de infraestrutura. Esse empenho resultou em um grande salto científico e tecnológico que possibilitou o desenvolvimento de novas tecnologias, que incluem a concepção, o cálculo, a análise e o detalhamento de estruturas, assim como sua execução (Souza; Ripper, 1998).

O contínuo avanço da tecnologia da construção levou à necessidade de inovações. No entanto, essas inovações muitas vezes envolviam assumir riscos para que pudessem ser implementadas. A aceitação destes riscos trouxe consigo a necessidade de estudar e analisar erros cometidos no passado de forma a reduzir a chance de ocorrências futuras (Souza; Ripper, 1998).

Denomina-se Patologia das Estruturas o campo da engenharia voltado ao estudo do que causa o surgimento de manifestações patológicas em uma estrutura, assim como suas consequências na mesma. Entender o processo que leva ao surgimento de uma anomalia é fundamental para preveni-la e, se necessário, tratá-la (Helene, 1992).

A construção de uma estrutura pode ser dividida em cinco etapas principais: planejamento, projeto, materiais, execução e manutenção. Sendo a etapa de projeto, conforme indicado no Gráfico 1, a mais apontada como origem das manifestações patológicas devido à falta de investimento no estudo da estrutura e na elaboração de um detalhamento adequado. Essa falta de investimento pode ocorrer tanto em termos financeiros como de tempo, pois muitas vezes os projetos são elaborados de maneira apressada, sem as devidas análises e cálculos, o que acarreta no surgimento dessas manifestações patológicas (Helene, 1992).

Gráfico 1 - Origem das manifestações patológicas em relação às etapas de produção e uso das obras civis



Fonte: Adaptado de Helene (1992, p. 22)

Da mesma forma que ocorre com as demais obras civis, as pontes podem apresentar manifestações patológicas, assim como também carecem de uma manutenção adequada ao longo de sua vida útil. Para Vítório (2002), as principais falhas que levam a essas anomalias em pontes e viadutos são as seguintes:

- Falhas congênitas: originadas na concepção do projeto, como as decorrentes da falta de estudo do local onde a obra será executada ou mesmo da falta de cumprimento das normas técnicas vigentes;
- Falhas adquiridas durante a construção: podem surgir devido a adoção de materiais, métodos ou equipamentos inadequados, assim como pelo uso de mão de obra não especializada;
- Falhas motivadas por causas acidentais: causadas por carregamento excessivo, utilização inadequada da estrutura e/ou mudanças repentinas no leito do rio, como enchentes e erosões;
- Falhas adquiridas devido às condições de exposição: obras situadas em meio ambiente agressivo.

2.2.1 *Vida Útil e Durabilidade*

A NBR 15575-1 (ABNT, 2024) define vida útil como o período durante o qual uma edificação pode cumprir suas funções, seguindo os níveis de desempenho especificados em norma e considerando seu uso, operação e manutenção adequados. Por outro lado, a durabilidade refere-se à capacidade da estrutura de manter seu desempenho ao longo do tempo. A vida útil não deve ser interpretada como um prazo de garantia da durabilidade, pois é influenciada por vários fatores, como o uso correto pelos usuários, manutenção adequada e regular, mudanças não previstas no entorno e qualidade dos materiais utilizados. O não cumprimento de qualquer um desses fatores pode diminuir a vida útil da estrutura.

Quando se fala de durabilidade em estruturas de concreto, por exemplo, a água é um fator muito importante, pois apesar do concreto apresentar uma rigidez típica dos materiais sólidos quando endurecido, ele também pode ser considerado um líquido viscoso em seu estado fresco. Desta forma, além de sua resistência mecânica, a quantidade de água presente no concreto, assim como a relação água/cimento, é o que vai reger características como densidade, compactidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração (Souza; Ripper, 1998).

Mas, em se tratando de estruturas, tanto metálicas quanto de concreto, é essencial que se tenha uma proteção adequada contra as características específicas do ambiente onde serão instaladas. Desta forma se mostra fundamental conhecer o ambiente para que se possa determinar os métodos apropriados de proteção (Souza; Ripper, 1998).

2.2.2 *Manifestações Patológicas em Pontes de Concreto Armado*

As manifestações patológicas ocorrem a partir de um mecanismo, ou seja, pode-se dizer que são consequências diretas de alguma falha na estrutura, que pode ter surgido em diversas etapas da construção, assim como posteriormente, durante seu uso (Helene, 1992). Para Montoya (2016), as anomalias mais encontradas em pontes e viadutos de concreto armado são as apresentadas a seguir.

2.2.2.1 *Fissuras*

A fissura é uma fenda que surge no concreto e é uma das anomalias mais comuns devido à baixa resistência a tração do mesmo. Pode ser classificada como ativa ou passiva (Souza; Ripper, 1998).

As fissuras ativas podem comprometer a integridade da estrutura uma vez que continuam a se desenvolver ao longo do tempo por serem produzidas por ações de magnitude variáveis, como no caso de fissuras de origem térmica ou fissuras de flexão causadas por ações

dinâmicas, como a passagem de veículos pesados, por exemplo. Ao passo que, as fissuras passivas alcançam sua amplitude máxima e se estabilizam quando a causa que as originou cessa, como é o caso das fissuras que surgem por retração hidráulica ou por um recalque diferencial já estabilizado (Vitório, 2002).

A NBR 9575 (ABNT, 2003) classificava como fissuras as aberturas que fossem iguais ou inferiores a 0,5 mm, e como trinca as aberturas que fossem superiores a 0,5 mm e inferiores a 1 mm. Após revisão em 2010, apenas a definição de fissura permaneceu, não havendo mais a definição anterior de trinca (ABNT, 2010). Diante disso sua classificação atualmente varia conforme autor. No entanto, essa discrepância não possui relevância significativa, uma vez que o nome atribuído à fissura não tem importância, servindo apenas como um meio de distinção. O que realmente importa é ter conhecimento do valor de abertura da fissura em análise. Montoya (2016), distingue as fissuras da seguinte maneira:

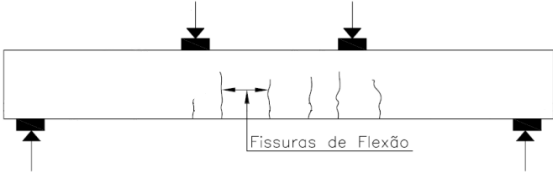
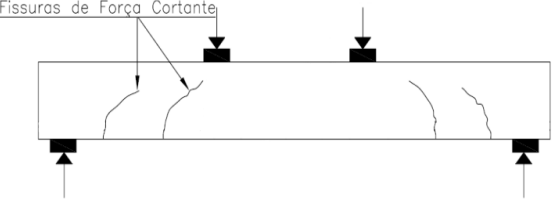
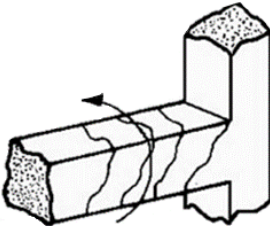
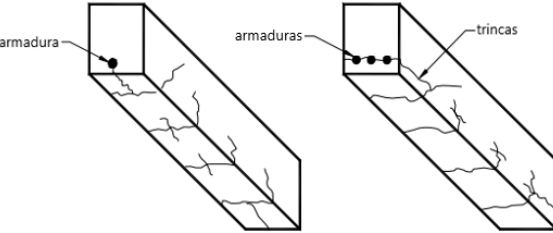
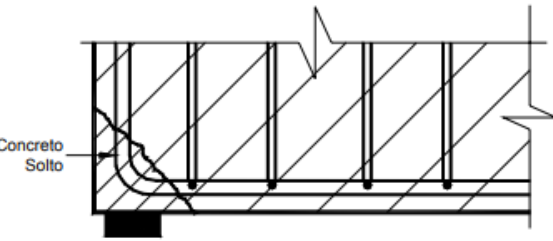
- GRADAÇÃO 1 Capilares: abertura $\geq 0,10$ mm a $\leq 0,20$ mm;
- GRADAÇÃO 2 Médias: abertura $> 0,20$ mm a $\leq 0,50$ mm;
- GRADAÇÃO 3 Grandes (trincas): abertura $> 0,50$ mm;

De acordo com Montoya (2016), existem diversas causas para o surgimento de uma fissura, sendo as principais:

- Cura deficiente;
- Retração;
- Expansão;
- Variações de temperatura;
- Ataques químicos;
- Excesso de carga;
- Erros de projeto;
- Erros de execução;
- Recalques diferenciais.

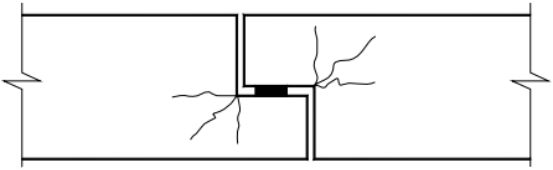
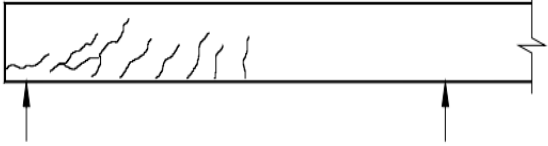
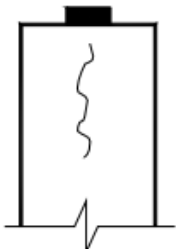
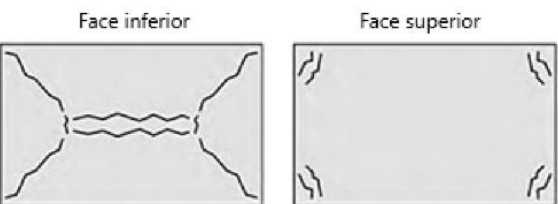
Ainda segundo Montoya (2016), as fissuras de origem estrutural mais encontradas em pontes e viadutos são causadas por tensões geradas pela carga permanente e pela carga móvel, sendo as apresentadas a seguir no Quadro 2:

Quadro 2 - Fissuras de origem estrutural

FISSURAS	FORMATAÇÃO
<p>Fissuras de flexão: normalmente causadas por sobrecarga ou pela má qualidade dos materiais empregados (Marcelli, 2007)</p>	 <p>Fonte: DNIT (2010, p. 52)</p>
<p>Fissuras de cortante: geralmente causadas por sobrecarga, seção ou armadura insuficiente, ou ainda, por falhas na execução da armadura (Marcelli, 2007)</p>	 <p>Fonte: DNIT (2010, p. 52)</p>
<p>Fissuras de torção: geradas por esforços acima da capacidade de carga projetada (Marcelli, 2007)</p>	 <p>Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 61)</p>
<p>Fissuras por corrosão das armaduras: geradas pela expansão do aço, que por sua vez leva à expansão do concreto (Silva; Godoy, 2022)</p>	 <p>Fonte: DNIT (2010, p. 50)</p>
<p>Trincas de ruptura frágil em apoios extremos: ocorrem por mal posicionamento dos apoios, ou seja, erros na execução do serviço geralmente causados por mão de obra desqualificada (Santos; Silva, 2017)</p>	 <p>Fonte: Montoya (2016, p. 76)</p>

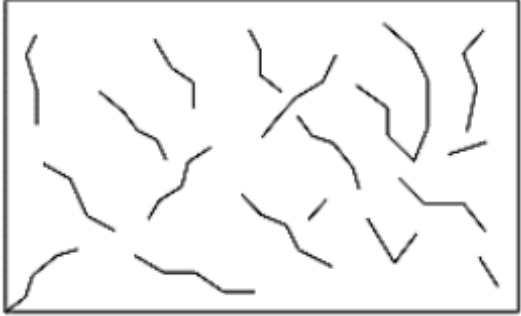
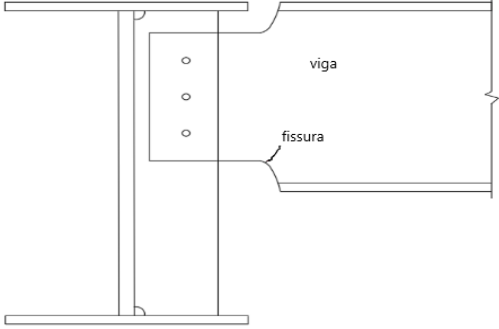
Continua

Continuação

FISSURAS	FORMATAÇÃO
<p>Fissuras nos dentes das articulações: ocorrem quando o sistema de articulação apresenta excessiva rigidez, resultando em uma concentração de tensões na área (Santos; Silva, 2017)</p>	 <p>Fonte: Montoya (2016, p. 76)</p>
<p>Fissuras por perda de aderência e colapso da armadura: surgem na área próxima às armaduras devido a perda de aderência entre a armadura e o concreto (Montoya, 2016)</p>	 <p>Fonte: Montoya (2016, p. 76)</p>
<p>Fissuras por insuficiência de fretagem: ocorre devido a colocação inadequada da armadura de tração ou à insuficiência da mesma em resistir aos esforços (Montoya, 2016)</p>	 <p>Fonte: DNIT (2004, p. 59)</p>
<p>Fissuras de flexão em lajes: ocasionadas pela aplicação de cargas não previstas em projeto, seja por cálculo ineficiente ou má utilização, ou pelo uso de materiais de baixa qualidade na execução da laje (Marcelli, 2007)</p>	 <p>Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 99)</p>

Continua

Conclusão

FISSURAS	FORMATAÇÃO
<p>Fissuras de retração em lajes: podem ocorrer devido à secagem ou a fatores químicos. A retração por secagem ocorre antes da pega do material, quando há um excesso de evaporação da água. A retração química, por sua vez, é um movimento natural do concreto, porém, geralmente é restringido pela existência de obstáculos internos (armaduras) ou externos (vinculação a outras peças estruturais) (Sartorti, 2008) (Souza; Ripper, 1998)</p>	 <p>Fonte: Santos e Silva (2017, p. 37)</p>
<p>Fissuras de fadiga: causadas por grandes variações de tensões, frequente passagem de veículos pesados e má qualidade do material utilizado (Montoya, 2016)</p>	 <p>Fonte: Montoya (2016, p. 87)</p>

Fonte: Elaboração própria

2.2.2.2 Eflorescência

A eflorescência, como pode ser vista na Figura 2, se apresenta como uma mancha geralmente branca na superfície do concreto. Essa ocorrência é resultante da interação entre o dióxido de carbono (CO_2) e os compostos de cálcio presentes na argamassa e nas pastas de cimento, que dão origem ao carbonato de cálcio. A entrada do CO_2 , encontrado no ar, no concreto é o responsável pelo surgimento dessa anomalia (Montoya, 2016).

Figura 2 - Eflorescência em viga



Fonte: Costa (2016, p. 35)

2.2.2.3 Corrosão Das Armaduras

Segundo Helene (1993), a corrosão é uma interação destrutiva entre um material e o ambiente. Quando se trata da deterioração do aço, existem dois tipos de processos: a corrosão eletroquímica e a oxidação direta.

Na corrosão eletroquímica, o processo ocorre devido à formação de pilhas ou células de corrosão, causadas pela presença de umidade, água ou uma solução aquosa na superfície das barras ou no concreto que as envolve, atuando como eletrólito. A dissolução do aço ocorre nas regiões anódicas, onde o ataque é mais intenso, enquanto nas regiões catódicas o ataque é mínimo ou desprezível. Assim, a corrosão das armaduras de aço em condições de umidade ou temperatura ambiente é sempre um processo eletroquímico e não uniforme (Helene, 1993).

Por outro lado, na oxidação direta, os átomos do aço reagem diretamente com o oxigênio, geralmente através de uma reação gás-metal ou íon-metal. Isso resulta na formação de uma película contínua e uniforme de óxido de ferro. Esse tipo de corrosão é extremamente

lenta em temperatura ambiente, tornando-se significativa apenas em temperaturas elevadas. Em geral, a oxidação direta manifesta-se de maneira uniforme, afetando igualmente toda a superfície da armadura (Helene, 1993).

As armaduras de aço estão protegidas quando envolvidas em concreto de boa qualidade e com adequado cobrimento. A alta alcalinidade do concreto (pH entre 12 e 14) cria uma fina película protetora em volta do aço. No entanto, fatores como a porosidade do concreto, a presença de trincas e a falta de cobrimento adequado podem comprometer essa proteção, permitindo que agentes agressivos causem a oxidação do aço (DNIT, 2010) (Vitório, 2002).

Inicialmente, a oxidação ocorre sem sinais visíveis de deterioração e só pode ser detectada por meio de testes especiais. No entanto, a área afetada pela oxidação aumenta seu volume em cerca de 8 vezes, exercendo uma força de expansão que rompe o cobrimento de concreto, expondo completamente as armaduras à ação agressiva do ambiente, conforme mostrado na Figura 3. A continuidade desse processo resulta na destruição total da armadura (DNIT, 2010) (Vitório, 2002).

Figura 3 - Corrosão das armaduras



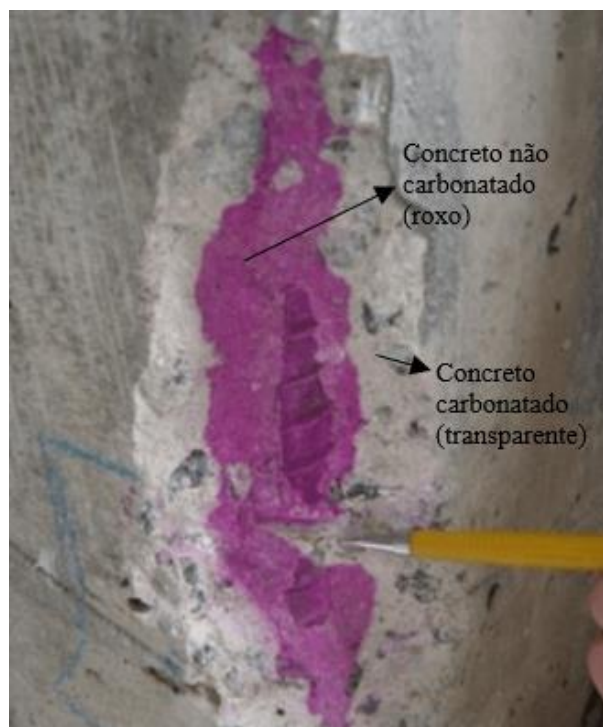
Fonte: Giovannetti (2014, p. 36)

2.2.2.4 Carbonatação

A carbonatação é a principal causa da corrosão das armaduras, pois envolve a transformação do hidróxido de cálcio, que possui um pH mais alto, em carbonato de cálcio, que possui um pH mais neutro. A redução desse pH, de 13 para 9, acaba por não ser o suficiente para proteger adequadamente as armaduras contra a corrosão. Um fator significativo que contribui para o desenvolvimento da carbonatação é a quantidade de CO_2 presente no ambiente

e a permeabilidade do concreto. Um método usado para a identificar a extensão da carbonatação no concreto é o uso de uma solução de fenolftaleína a 1% em álcool etílico. Essa solução, sem cor, ao entrar em contato com concreto não carbonatado assume a cor roxa, conforme Figura 4. Desta forma, onde a solução não alterar a cor do concreto é onde se tem carbonatação (Henriques; Tavares; Terceiro Neto, 2023) (Montoya, 2016) (Vitório, 2002).

Figura 4 - Pilar de concreto armado sob o efeito da carbonatação



Fonte: Frazão (2020)

2.2.2.5 Desagregação, Disgregação e Segregação do Concreto

A desagregação do concreto, conforme ilustrada na Figura 5, é o processo em que ocorre a separação e fragmentação dos componentes do material, devido à perda de sua propriedade aglomerante, responsável por manter os agregados unidos. Essa desagregação resulta em uma diminuição da capacidade do concreto em resistir aos esforços aos quais é submetido. As suas principais causas são a presença de sulfatos e cloretos, geralmente em decorrência de cimento utilizado inadequado ao meio ambiente, preparado com aditivo acelerador de pega com excesso de cloreto ou má adensado (DNIT, 2010) (Montoya, 2016) (Souza; Ripper, 1998).

Figura 5 - Desagregação do concreto



Fonte: Costa (2016, p. 37)

A disgregação é causada por fenômenos físicos, como solicitações internas, que provocam fortes tensões localizadas e sobrecargas anormais, levando a ruptura do concreto. Entretanto, a causa mais comum para essa ocorrência é a corrosão das armaduras devido à expansão da área afetada pela oxidação, que provoca um forte estado de tensões no concreto, resultando em sua ruptura, conforme Figura 6 (Montoya, 2016) (Vitório, 2002).

Figura 6 - Disgregação do concreto



Fonte: Dórea; Santos; Silveira (2010, p. 10)

A segregação do concreto ocorre quando há separação entre o agregado graúdo e a argamassa, resultando em uma distribuição heterogênea dos componentes da mistura e a formação de vazios no concreto, conforme Figura 7. Surge em decorrência de falhas no processo de concretagem (Montoya 2016) (Vitório, 2002).

Figura 7 - Segregação do concreto



Fonte: Costa (2016, p. 45)

2.2.2.6 Erosão do concreto

É a perda gradual de concreto na superfície, como pode ser visto na Figura 8, e surge pelo processo de desgaste da superfície por atrito. Este atrito pode ser gerado pela passagem contínua de veículos ou pela por partículas transportadas pela água em movimento (DNIT, 2010) (Montoya, 2016).

Figura 8 - Erosão do Concreto



Fonte: Montoya (2016, p. 79)

2.2.2.7 Perda de Aderência

A perda de aderência pode manifestar-se tanto entre a armadura e o concreto, como entre duas camadas de concreto com idades diferentes. Quando se trata da perda de aderência entre a armadura e o concreto, as causas principais são a corrosão das armaduras, a deterioração do concreto e a expansão ou contração excessiva das armaduras devido a incêndios ou cargas cíclicas. Quando ocorre entre duas camadas de concreto com idades diferentes, a perda de aderência ocorre devido à falta de tratamento adequado da superfície do concreto antigo que entrará em contato com o concreto novo. Isso pode acontecer, por exemplo, quando há presença de sujeira ou resíduos nessa superfície (Montoya 2016) (Souza; Ripper, 1998).

2.2.2.8 Reação Álcali Agregado

Trata-se da reação química entre os íons alcalinos presentes no cimento e alguns minerais encontrados nos agregados. Essa interação resulta na formação de um gel que tem a capacidade de expandir-se quando entra em contato com a umidade do ambiente. Como resultado dessa expansão, podem surgir fissuras e, em algumas situações, ocorrer a exsudação desse gel através dessas fissuras, como pode ser visto na Figura 9. As consequências dessa expansão podem se manifestar a longo prazo, vários anos após o início do processo reacional (DNIT, 2010) (Montoya, 2016) (Souza; Ripper, 1998).

Figura 9 - Reação álcali agregado



Fonte: Andrade (2013, p. 29)

2.2.2.9 Deformação em Aparelhos de Apoio de Elastômero

Para Montoya (2016), as deformações em aparelhos de apoio de elastômero podem ser classificadas como:

- Moderada: o apoio ainda não teve seu desempenho comprometido;
- Intensa: com deformação evidente, deterioração do material e colapso iminente;
- Crítica: aparelho de apoio em colapso e início da deterioração do pilar, conforme Figura 10.

Figura 10 - Aparelho de apoio elastomérico esmagado



Fonte: DNIT (2010, p. 137)

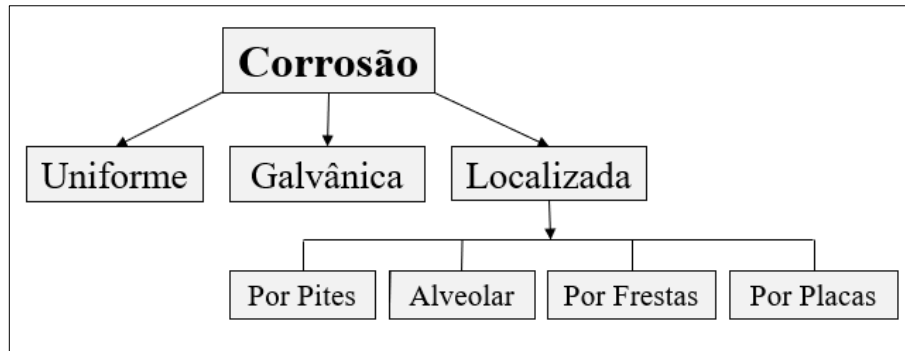
2.2.3 Manifestações patológicas em estruturas de aço

As manifestações patológicas mais frequentes e danosas em estruturas metálicas são aquelas que serão discutidas a seguir.

2.2.3.1 Corrosão

Para Dias (2002), a corrosão pode ser dividida em 3 tipos, conforme demonstrado na Figura 11: uniforme, galvânica e localizada, sendo esta última subdividida em corrosão por pites, corrosão alveolar, corrosão por frestas e corrosão por placas.

Figura 11 - Tipos de corrosão



Fonte: Elaboração própria

- Corrosão Uniforme

A corrosão uniforme, segundo Castro (1999), ocorre quando a superfície da viga é coberta por uma camada uniforme e pouco aderente de óxido de ferro, conhecido como ferrugem, como pode ser visto na Figura 12. Apesar de ser o tipo mais comum, também é o menos prejudicial, pois é facilmente detectado, conforme Dias (2002). A causa desse tipo de corrosão, de acordo com Castro (1999), é a exposição direta do aço a um ambiente agressivo, geralmente resultante de uma peça sem proteção ou com proteção ineficiente, ou ainda devido à falta de manutenção na camada protetora.

Figura 12 - Corrosão uniforme em ponte

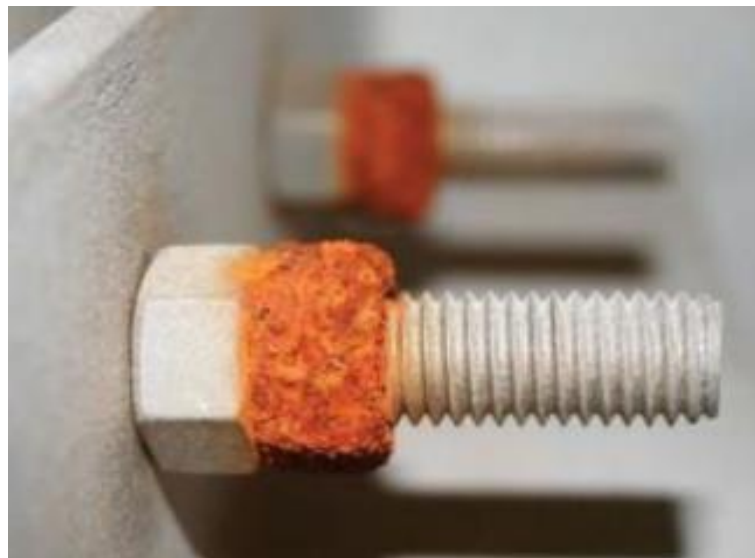


Fonte: Cardoso (2007, p. 68)

- Corrosão Galvânica

A corrosão galvânica, demonstrada na Figura 13, segundo Dias (2002), ocorre quando dois metais com diferentes potenciais eletroquímicos são colocados em contato na presença do mesmo eletrólito. Nessa interação, o metal com menor potencial eletroquímico age como proteção para o metal com maior potencial, sacrificando-se em seu lugar. De acordo com Stephens *et al.* (2019) é comum proteger estruturas de aço com uma camada de tinta de zinco, pois o zinco, sendo mais suscetível à corrosão, se corroerá preferencialmente em vez do aço.

Figura 13 - Corrosão galvânica



Fonte: Stephens *et al.* (2019, p. 5)

- Corrosão Localizada

A corrosão localizada ocorre de forma não uniforme em pontos específicos da estrutura. De acordo com Dias (2002), ela pode se manifestar de quatro formas, como descrito a seguir.

- Corrosão por Pites

A corrosão por pites afeta áreas localizadas da viga, com os pites assumindo diversas formas e dimensões, conforme Figura 14. Caracteristicamente, esses pontos apresentam uma profundidade maior que seu diâmetro, podendo até mesmo atravessar completamente a espessura de uma chapa metálica. É um tipo de corrosão mais difícil de detectar e mais grave que a corrosão uniforme (Dias, 2002).

Conforme observado por Castro (1999), esse tipo de corrosão ocorre em metais que desenvolvem películas apassivadoras, as quais, quando expostas a certas condições ambientais, podem romper-se, permitindo a corrosão localizada.

Figura 14 - Corrosão por pites

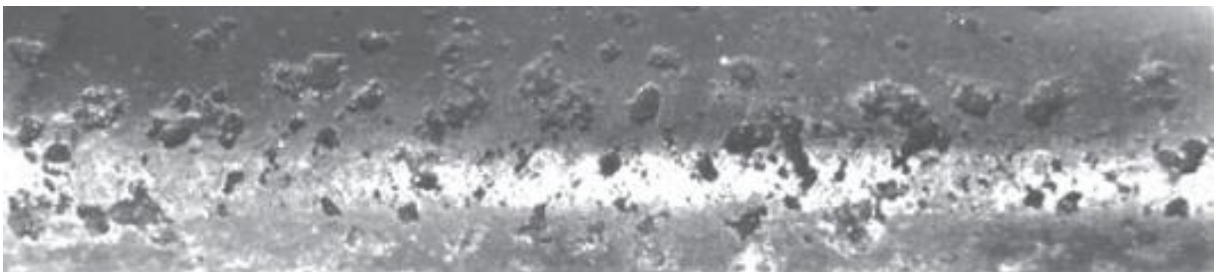


Fonte: Gentil (2017)

- Corrosão Alveolar

Segundo Dias (2002), a corrosão alveolar, diferentemente da corrosão por pite, tende a ter uma profundidade menor que seu diâmetro e um fundo mais arredondado, como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15- Corrosão alveolar



Fonte: Gentil (2017)

- Corrosão por Fresta

A corrosão ocorre em locais onde duas superfícies estão em contato ou próximas, como em ligações e vedações. Essa forma de corrosão, por ser localizada em áreas pequenas, é difícil de ser identificada, pois o restante da peça permanece intacto (Castro, 1999).

A diferença entre o microambiente dentro e fora da fresta resulta em concentrações distintas de oxigênio, íons metálicos e cloretos. Essas diferenças criam condições favoráveis para a corrosão, levando à deterioração do metal nesses pontos específicos, conforme Figura 16 (Stephens *et al.*, 2019).

Figura 16 - Corrosão fresta entre tubulação e perfil metálico suporte



Fonte: Souza (2015, p. 41)

○ Corrosão em Placas

É o tipo de corrosão que ocorre na superfície do aço, criando placas com escavações (Gentil, 2017). Segundo Dias (2002), ela pode ser vista como um fenômeno intermediário entre a corrosão uniforme e a localizada, pois se desenvolve de forma mais acentuada em certas regiões, como demonstrado na Figura 17.

Figura 17 - Corrosão em placas



Fonte: Gentil (2017)

2.2.3.2 *Deformações Excessivas*

As deformações excessivas em vigas de aço podem ser resultado de sobrecargas elevadas, quando a ponte suporta um fluxo de carga superior ao planejado e projetado, bem como de efeitos térmicos e deficiências no contraventamento (Sartorti, 2008).

2.2.3.3 *Fissuras e Trincas*

Sartorti (2008) afirma que as fissuras em estruturas metálicas resultam de concentrações de tensões elevadas ou fadiga. As concentrações de tensões geralmente ocorrem em áreas com mudanças abruptas de espessura ou largura de chapas, ou devido a concentrações de soldas. As fissuras por fadiga são causadas pelos carregamentos cíclicos aos quais as pontes são submetidas, como o tráfego frequente de caminhões pesados, que acabam por gerar uma grande amplitude na variação de tensões.

2.2.3.4 *Defeitos de solda*

Defeitos oriundos do processo de soldagem, normalmente causados por uma má execução ou pelo uso de materiais inadequados, podem provocar sérios danos à estrutura e até mesmo provocar ruptura frágil (Sartorti, 2008). De acordo com Pfeil (2010), esses defeitos são: fraturas a quente, fraturas a frio, porosidade, fusão incompleta e inclusão de escória.

2.3 **Inspeção em Pontes**

A NBR 9452 (ABNT, 2023, p. 7) define como inspeção:

Conjunto de procedimentos técnicos e especializados que compreendem a coleta de dados necessários à formulação de um diagnóstico e prognóstico da estrutura, visando manter ou reestabelecer os requisitos de segurança estrutural, de funcionabilidade e de durabilidade. (ABNT, 2019, p. 7).

A NBR 9452 (ABNT, 2023), apresenta uma classificação quanto aos tipos de inspeções, conforme exposto a seguir:

- **Inspeção cadastral:** é a primeira inspeção da obra e deve ser realizada logo após sua conclusão ou assim que ela for incorporada ao sistema viário. Além disso, é necessária sempre que houver mudanças na configuração da obra, como alargamento, aumento de comprimento, reforço ou alteração no sistema estrutura;
- **Inspeção rotineira:** é feita periodicamente, de maneira visual, com ou sem o auxílio de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, realizada em intervalos igual

ou inferiores a um ano. Deve-se verificar a evolução das anomalias observadas nas inspeções anteriores, assim como o surgimento de novas;

- Inspeção especial: deve ser realizada em intervalos de 5 anos, prazo este que pode ser excedido até no máximo 8 anos se a obra for classificada como obra de intervenção a longo prazo (conforme Quadro 3) ou se for o caso de obras com total acesso a seus elementos constituintes na inspeção rotineira;
- Inspeção extraordinária: é uma inspeção não programada, efetuada quando uma demanda não prevista surge como a necessidade de avaliar com mais critérios alguma parte da ponte, a ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação na obra, e em casos de eventos da natureza como inundações, vendavais, sismos, etc.

Para DNIT (2004), existe mais uma classificação além das quatro já mencionadas anteriormente. Denominada “Inspeção intermediária”, essa avaliação tem como objetivo monitorar anomalias específicas já identificadas, como pequenos recalques de fundação ou o estado de elementos estruturais. Nesses casos, a presença do inspetor não é requerida, uma vez que a anomalia em questão já foi detectada.

Quadro 3 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura se encontra em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários	A OAE se encontra em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados
4	Boa	A estrutura apresenta danos de baixa gravidade, localizados e em pequenas áreas, sem comprometer a segurança estrutural	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que não comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental

Continua

Continuação

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
3	Regular	<p>Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.</p> <p>Recomenda-se acompanhamento dos problemas</p>	<p>A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações</p>	<p>A OAE apresenta anomalias de moderada gravidade, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental</p> <p>A OAE apresenta de moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental</p>
2	Ruim	<p>Há danos comprometendo a segurança estrutural da OAE sem aparente risco iminente de colapso. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas</p>	<p>A OAE possui funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário</p>	<p>A OAE apresenta de moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental</p> <p>A OAE apresenta muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental</p>
1	Crítica	<p>Há danos gerando grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural localizado. A OAE necessita de intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição parcial, escoramento provisório, instrumentação, associadas ou não</p>	<p>A OAE apresenta condições funcionais limitadas de utilização em regiões localizadas</p>	<p>A OAE se encontra em elevado grau de deterioração em regiões localizadas, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional, requerendo intervenção imediata, podendo ser necessárias restrição de carga e interdição parcial ao tráfego</p>

Continua

Conclusão

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
0	Emergencial	Há elementos estruturais principais colapsados, evoluindo para instabilidade da estrutura. É necessária a interdição total, até que haja avaliação e reclassificação por consultoria especializada ou intervenção	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização. A OAE deve ser interditada	A OAE se encontra em elevado grau de deterioração, gerando grave insuficiência estrutural e/ou funcional, requerendo intervenção emergencial e interdição total

Fonte: Adaptado de ABNT (2023)

3 METODOLOGIA

Inicialmente, considerou-se o uso do drone modelo DJI AIR 2S, conforme ilustrado na Figura 18, para a realização da vistoria. Contudo, a amplitude do tabuleiro da ponte e a presença de numerosas vigas dificultariam a obtenção dos ângulos necessários para capturar todas as áreas relevantes. Adicionalmente, a ausência de uma câmera na parte superior do drone impôs um desafio significativo, pois essa funcionalidade seria essencial para capturar imagens adequadas da parte inferior do tabuleiro. Devido a essas limitações, optou-se por uma abordagem híbrida, combinando o uso de câmeras manuais e drone, utilizando este último para capturas laterais da ponte e da parte superior do tabuleiro. No entanto, problemas técnicos com o drone impediram sua utilização, resultando na decisão de realizar a vistoria exclusivamente por meio de levantamento fotográfico direto das vigas longarinas, transversinas, pilar, encontro e da parte inferior do vão 01.

Figura 18 - Drone modelo DJI AIR 2S



Fonte: Elaboração própria

Em seguida, foram definidos os modelos de câmeras de alta resolução a serem utilizados na vistoria. Os modelos selecionados foram a Nikon COOLPIX P900 Black e a Canon T5i.

A câmera Nikon COOLPIX P900 Black, como mostrada na Figura 19, possui zoom óptico de 83x, com um sensor de 35 mm, proporcionando uma distância focal equivalente a uma lente de 24 a 2.000 mm. Além disso, esse modelo de câmera possui GPS embutido, permitindo *tags* de geolocalização nas fotos, e conta com conectividade Wi-Fi e NFC (Nikon, 2015).

Figura 19 - Nikon COOLPIX P900 Black



Fonte: Nikon (2015)

A câmera Canon T5i, ilustrada na Figura 20, por sua vez, possui um sensor CMOS de 18 MP no formato APS-C (22 x 15 mm) e consegue operar numa faixa ISO que varia de 100 a 12.800 de sensibilidade, que pode ser ampliada até 25.600 em modo H. No entanto, a mesma não possui conexão Wi-Fi, Bluetooth ou NFC (Canon, 2013).

Figura 20 - Canon T5i



Fonte: Canon (2013)

Já a ponte a ser vistoriada, como já mencionado anteriormente, é a Ponte Borges de Medeiros, que atravessa o rio Ibirapuitã, no município de Alegrete, Rio Grande do Sul, como mostrado na Figura 21. Esta ponte é de grande importância para a região, tanto do ponto de vista estrutural quanto histórico.

Figura 21 - Vista superior da Ponte Borges de Medeiros



Fonte: Google Earth (2024)

3.1 Estrutura da Ponte

Na Figura 22 é possível observar a Ponte Borges de Medeiros como um todo e os elementos que a compõem.

Figura 22 - Vista geral da Ponte Borges de Medeiros



Fonte: Elaboração própria

Durante o desenvolvimento deste trabalho, não foram encontrados registros de projetos ou plantas da ponte. Portanto, as informações utilizadas foram obtidas de relatórios posteriores e levantamentos de campo.

Trata-se de uma ponte mista, com vigas longarinas e transversinas em aço, enquanto o tabuleiro é de concreto armado, como mostrado na Figura 23 abaixo. A ponte inclui dois encontros distintos, além de pilares de alvenaria de pedra. O encontro voltado para a Rua Venâncio Aires foi reformado e construído em concreto armado sobre tubulões de concreto armado, Figura 24. O encontro no lado leste, na Avenida Ibicuí, é executado em alvenaria de pedra, de modo semelhante aos pilares, Figura 25.

Figura 23 - Vista inferior do tabuleiro suportado por vigas longarinas e transversinas



Fonte: Elaboração própria

Figura 24 - Encontro 01



Fonte: Elaboração própria

Figura 25 - Encontro 02



Fonte: Elaboração própria

A ponte tem um comprimento total de 84 metros, medido entre as juntas dos muros de contenção. A pista de rolamento, com uma largura de 7,20 metros, atinge uma largura total de 10 metros quando somada aos passeios. A espessura da laje do tabuleiro varia entre 20 cm nas extremidades e 23 cm no centro. As lajes dos passeios para pedestres, que são em balanço, possuem uma espessura constante de 12 cm. Nas extremidades das lajes dos passeios está fixada a estrutura metálica do guarda-corpo, destinada a impedir a queda dos pedestres, e que está atualmente prevista para modificações.

Os vãos possuem as seguintes distâncias, sendo o vão 01 o mais próximo da rua Venâncio Aires:

- Vão 01: 12,5 m
- Vão 02: 19,7 m

- Vão 03: 19,8 m
- Vão 04: 19,5 m
- Vão 05: 12,5 m

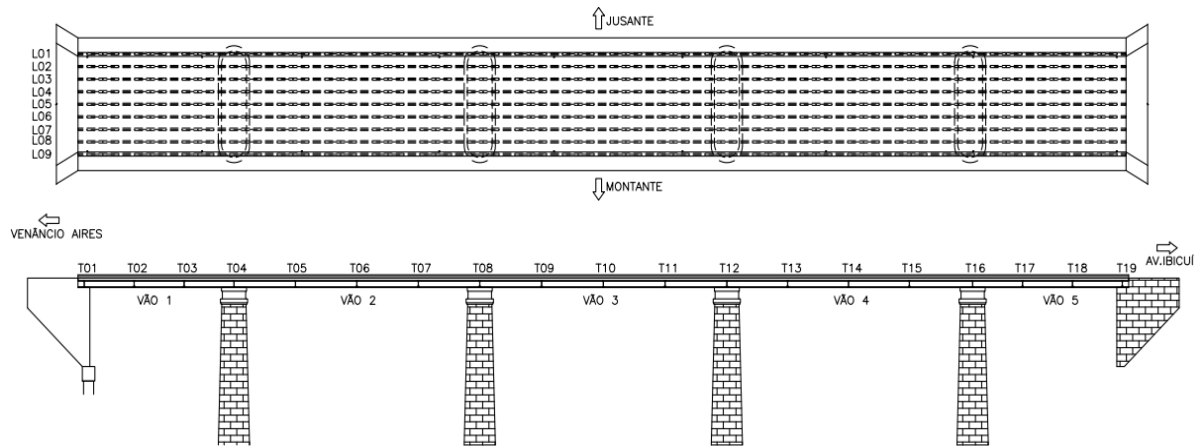
Uma transversina conecta as longarinas em cada apoio para assegurar a estabilidade, além de dividir os vãos. Nos vãos 1 e 5, duas transversinas dividem o comprimento das longarinas em três partes iguais. Nos vãos 2, 3 e 4, três transversinas dividem cada vão em quatro segmentos de igual distância. A distância média entre os eixos das longarinas é de 0,945 m. Cada longarina é formada por um perfil duplo “T” com chapas de reforço soldadas em ambas as mesas com filetes de solda contínuos. As vigas transversinas são de perfil laminado duplo “T”, com altura de 435 mm, largura da mesa de 150 mm e espessuras da mesa e da alma de 10 mm. As longarinas são apoiadas nos pilares por chapas de aço quadradas de 240x240x20 mm, simplesmente posicionadas sobre os pilares e em contato direto, sem solda às vigas.

3.2 Procedimentos

As vistorias foram realizadas nos dias 6 e 13 de março e 13 de junho, por meio de levantamento fotográfico. Após analisar os resultados das fotos tiradas no dia 6 de março, decidiu-se refazer a inspeção no dia 13 de março, modificando a metodologia utilizada para tirar as fotos. A vistoria realizada no dia 13 de junho foi necessária devido à alta exposição das fotos das vigas do lado jusante da ponte, causada pela iluminação do sol. A demora para realizar essa nova vistoria deveu-se às cheias do rio ocorridas nos meses de abril e maio.

Foram capturadas fotografias de ambos os lados das vigas, tanto jusante quanto montante, abrangendo tanto as transversinas (T), quanto as longarinas (L). Estas foram nomeadas de forma crescente, da direção jusante para a direção montante do rio, com o intuito de facilitar a identificação posterior, conforme demonstrado a seguir na Figura 26.

Figura 26 - Nomenclatura dos elementos



Fonte: Adaptado de Lübeck *et al.* (2015)

Foi elaborada uma tabela, Apêndice A, para organizar as fotografias, na qual cada viga foi associada a um intervalo específico de imagens na câmera, facilitando sua posterior identificação.

As imagens coletadas foram então processadas no software PTGui (*Panorama Tools Graphical User Interface*), um avançado software de costura de fotos utilizado principalmente para criar imagens panorâmicas. Este software permite combinar várias fotografias sobrepostas para formar uma imagem contínua sem perder a qualidade. Em seguida, utilizou-se o software GIMP (*GNU Image Manipulation Program*), um editor de imagens, para cortar as mesmas, deixando apenas a viga em questão na imagem, descartando áreas desnecessárias. No GIMP, também foi utilizada a ferramenta de edição de cores para clarear as vigas que ficaram um pouco escuras, visando possibilitar uma melhor análise das imagens.

4 RESULTADOS

Para esclarecimento seguem abaixo informações importantes:

- **Orientação da Ponte:** o lado jusante da ponte corresponde ao lado norte, enquanto o lado montante corresponde ao lado sul. Sabe-se que o lado jusante recebe maior incidência da luz solar.
- **Longarina 01 (Lado Jusante):**
 - Na segunda inspeção, as fotos foram tiradas pela manhã, por volta das 10 horas, e na terceira inspeção, à tarde, por volta das 15 horas. Em ambos os casos, as fotos apresentaram alta incidência solar, comprometendo a qualidade das imagens. Optou-se por utilizar o registro da segunda inspeção;
 - Devido à intensidade da luz, não foi possível montar uma foto panorâmica completa no software PTGUI, resultando na divisão da viga em duas partes. Além disso, a localização abaixo da viga somado a vegetação dificultaram a captura de uma imagem com ângulo melhor.
- **Longarina 09 (Lado Montante):** não foi possível capturar fotos da longarina 09 devido à presença de uma grande tubulação de esgoto ao lado, conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27- Tubulação de esgoto ao lado da viga 09



Fonte: Elaboração própria

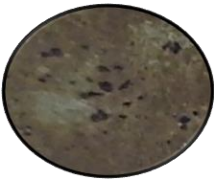
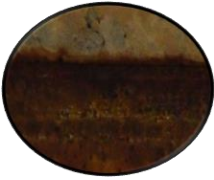
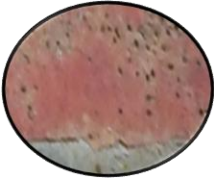
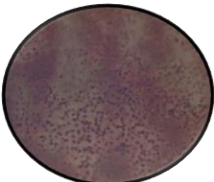
- **Transversina 01 (Lado AB):** a transversina 01 possui apenas uma vista do lado AB, pois o outro lado está voltado para dentro do encontro 01.

- Transversina 03 (Lado VA): não foi possível tirar fotos da transversina 03 devido à dificuldade de capturar um ângulo adequado por conta de um pilar, resultando na ausência de registros deste lado.
- Vigas L04M, L06M, L08M: as vigas em questão apresentaram uma corrosão por pites generalizada em praticamente toda a sua lateral. Para evitar a poluição da foto panorâmica, não foi indicado ali a presença desta patologia.

4.1 Vigas longarinas

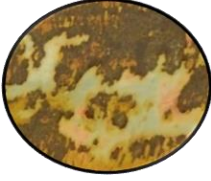
A seguir, serão apresentadas fotos de cada viga com suas respectivas anomalias indicadas na imagem por meio de siglas. Cada anomalia será destacada nas imagens em sequência para melhor visualização. As siglas e seus significados estão demonstrados no Quadro 04:

Quadro 4 - Anomalias encontradas nas vigas da ponte

Anomalia	Sigla	Imagem
Corrosão Alveolar	CA	
Corrosão mais avançada	C+	
Corrosão por pites	CPP	
Corrosão por pites generalizada	CPPG	

Continua

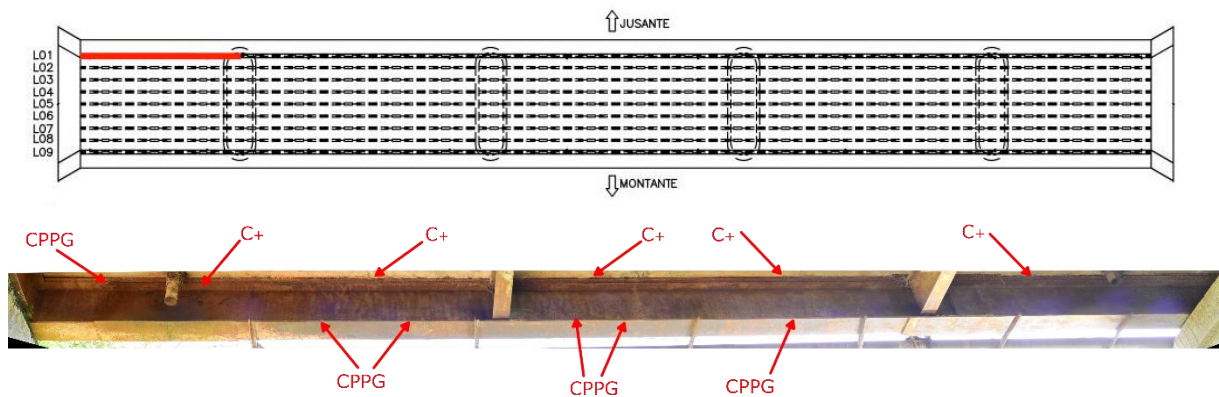
Continuação

Anomalia	Sigla	Imagem
Descascamento por corrosão	DPC	

Fonte: Elaboração própria

Na Figura 28, são apresentadas as anomalias encontradas no lado montante da longarina 01. Em seguida, nas Figura 29 e Figura 30, respectivamente, tem-se corrosão por pites generalizada e corrosão mais avançada.

Figura 28 - Anomalias na viga longarina L01 Montante



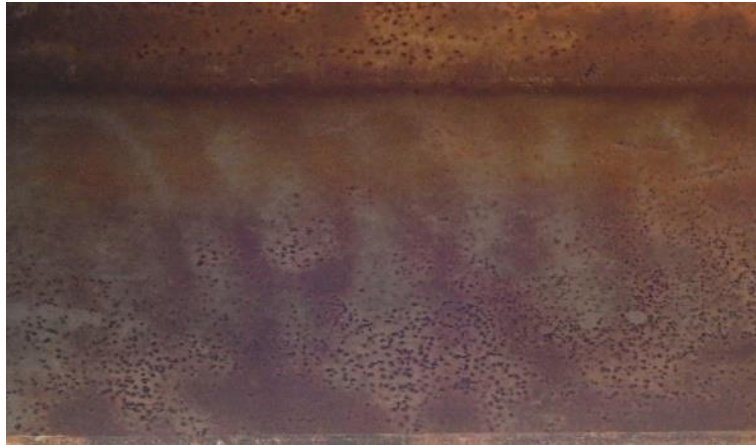
C+: Corrosão mais avançada
CPPG: Corrosão por pites generalizada
 Fonte: Elaboração própria

Figura 29 - L01 Montante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

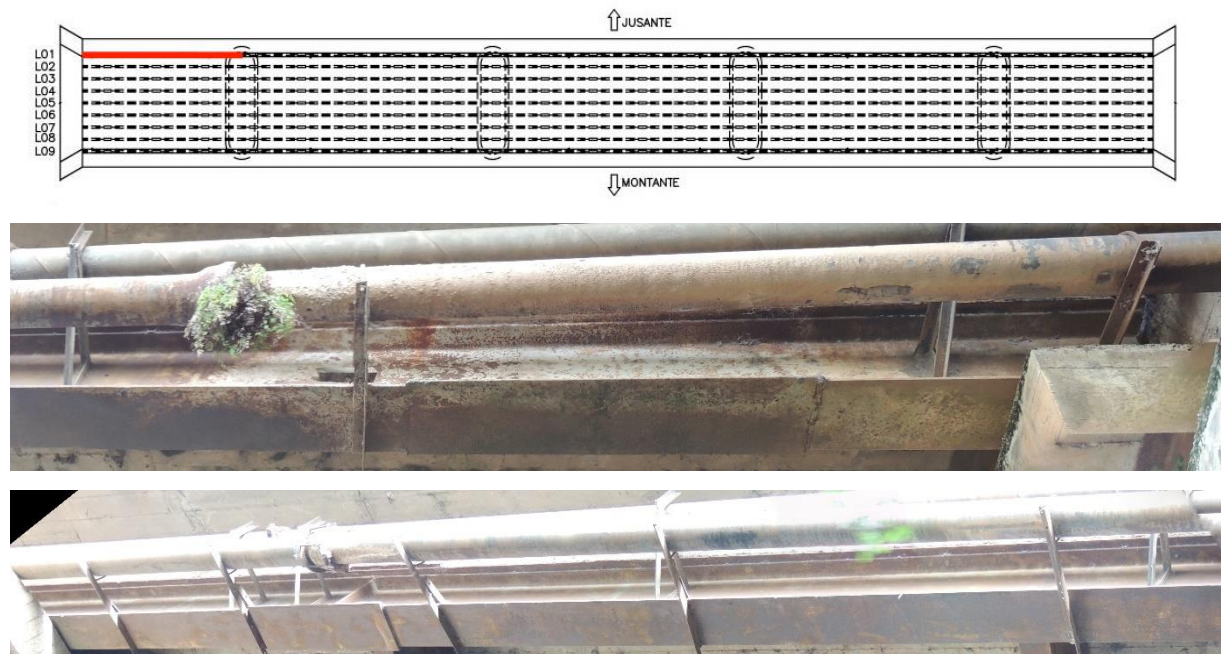
Figura 30 - L01 Montante - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 31, tem-se o lado jusante da viga longarina 01, que, conforme comentado anteriormente, não pôde ser identificado.

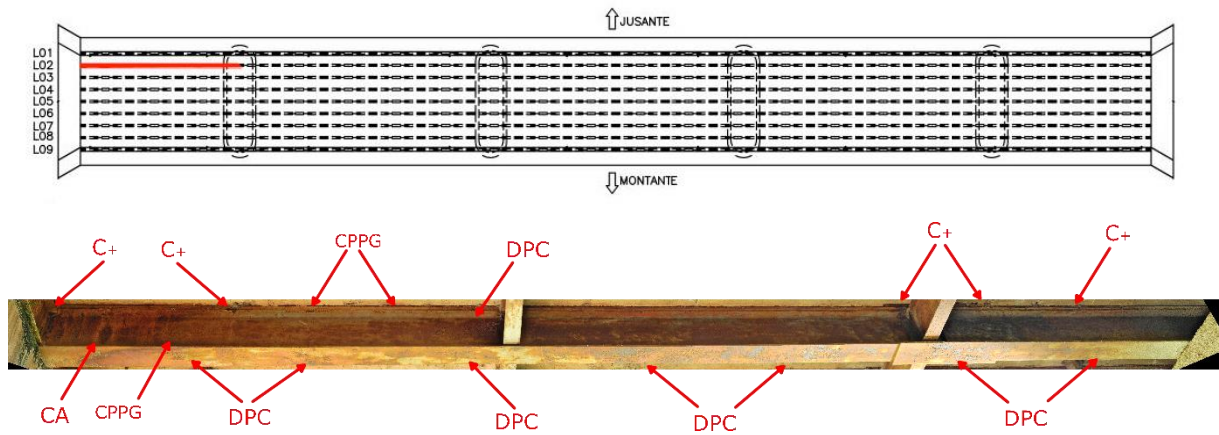
Figura 31 - Anomalias na viga L01 Jusante



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 32 estão demonstradas as anomalias encontradas no lado montante da viga longarina 02. Em seguida, as anomalias: corrosão alveolar, corrosão mais avançada, corrosão por pites generalizada e descascamento por corrosão, são demonstradas, respectivamente, nas Figuras 33, 34, 35 e 36.

Figura 32 - Anomalias na viga L02 Montante



CA: Corrosão alveolar
C+: Corrosão mais avançada
CPPG: Corrosão por pites generalizada
DPC: Descascamento por corrosão
 Fonte: Elaboração própria

Figura 33 - L02 Montante - Corrosão alveolar



Fonte: Elaboração própria

Figura 34 - L02 Montante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

Figura 35 - L02 Montante - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

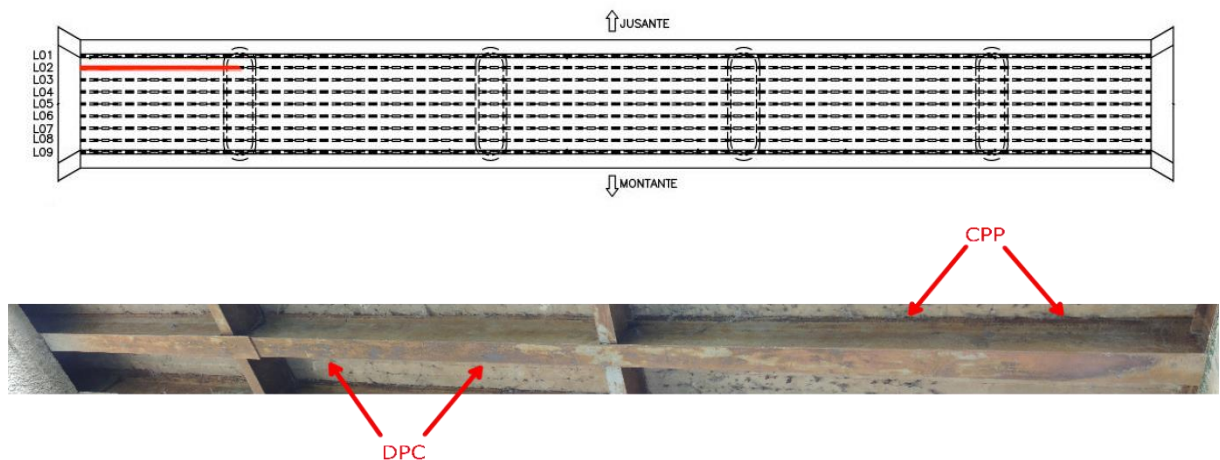
Figura 36 - L02 Montante - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 37, são exibidas as anomalias detectadas no lado jusante da viga longarina 02. Posteriormente, na Figura 38 e Figura 39 ilustra-se, em sequência, a corrosão por pites e o descascamento por corrosão.

Figura 37 - Anomalias na viga L02 Jusante



CPP: Corrosão por pites
DPC: Descascamento por corrosão
 Fonte: Elaboração própria

Figura 38 - L02 Jusante - Corrosão por pites



Fonte: Elaboração própria

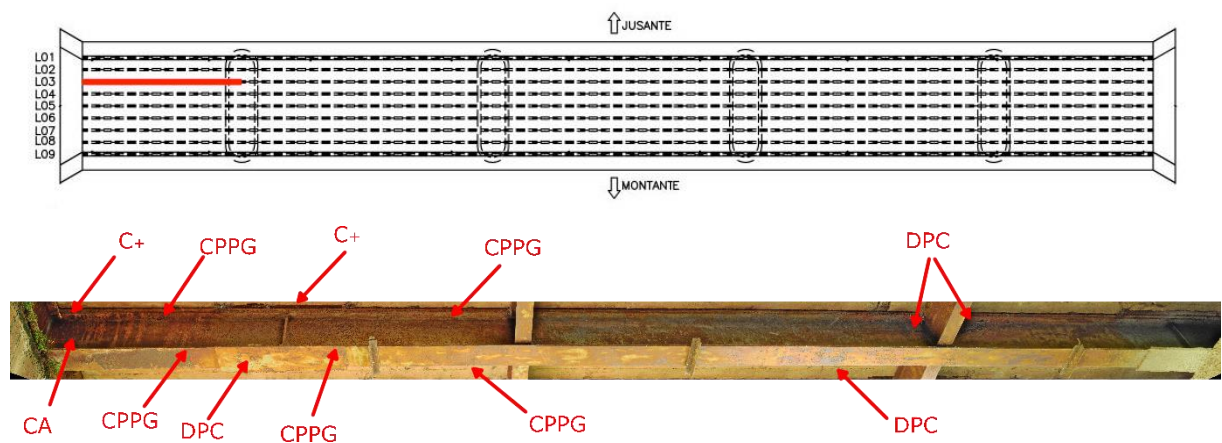
Figura 39 - L02 Jusante - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

A Figura 40 evidencia as anomalias encontradas no lado montante da longarina 03. Em sequência, a corrosão alveolar, a corrosão mais avançada, a corrosão por pites generalizada e o descascamento por corrosão são apresentadas nas Figuras 41, 42 e 43.

Figura 40 - Anomalias na viga L03 Montante



CA: Corrosão alveolar
C+: Corrosão mais avançada
CPPG: Corrosão por pites generalizada
DPC: Descascamento por corrosão

Fonte: Elaboração própria

Figura 41 - L03 Montante - Corrosão alveolar



Fonte: Elaboração própria

Figura 42 - L03 Montante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

Figura 43 - L03 Montante - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

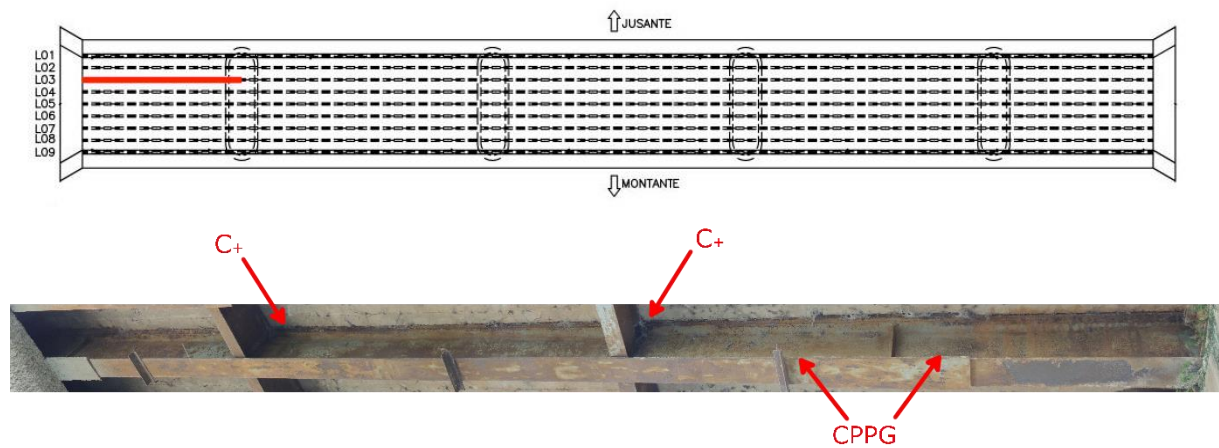
Figura 44 - L03 Montante - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 45, destacam-se as anomalias encontradas no lado jusante da longarina 03. Em seguida, demonstra-se através das Figuras 46 e 47, respectivamente, corrosão mais avançada e corrosão por pites generalizada.

Figura 45 - Anomalias na viga L03 Jusante



C+: Corrosão mais avançada
CPPG: Corrosão por pites generalizada
 Fonte: Elaboração própria

Figura 46 - L03 Jusante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

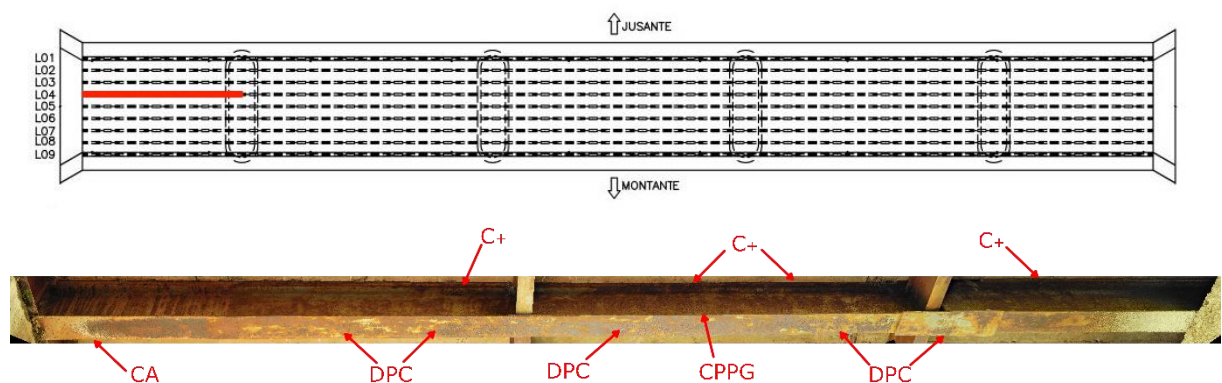
Figura 47 - L03 Jusante - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

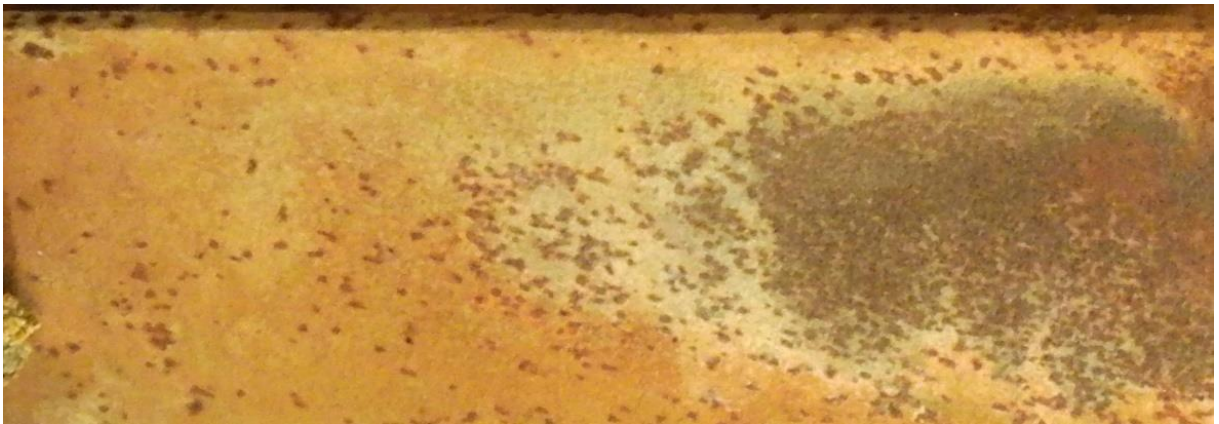
Na Figura 48 são exibidas as anomalias detectadas no lado montante da viga longarina 04. Posteriormente, nas Figuras 49, 50, 51 e 52 ilustra-se, em sequência, corrosão alveolar, corrosão mais avançada, corrosão por pites generalizada e descascamento por corrosão.

Figura 48 - Anomalias na viga L04 Montante



CA: Corrosão alveolar
C+: Corrosão mais avançada
CPPG: Corrosão por pites generalizada
DPC: Descascamento por corrosão
 Fonte: Elaboração própria

Figura 49 - L04 Montante - Corrosão alveolar



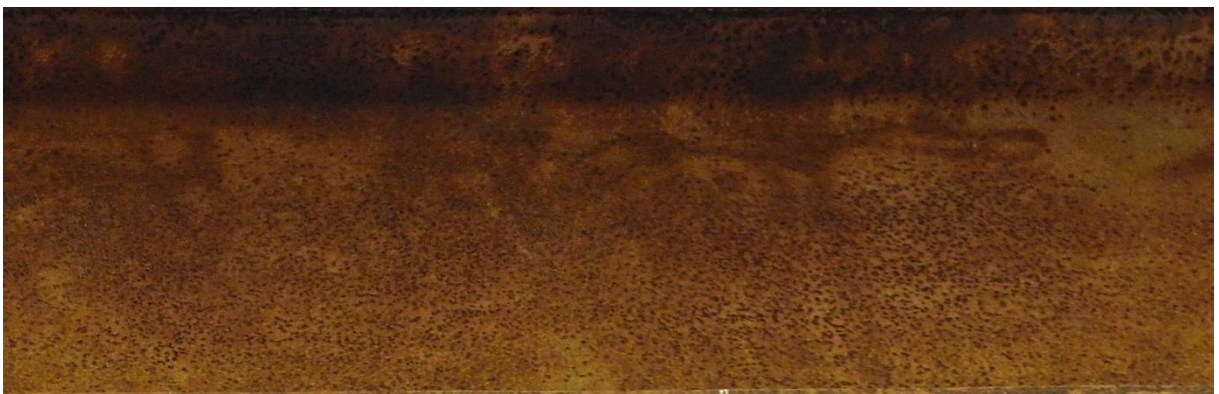
Fonte: Elaboração própria

Figura 50 - L04 Montante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

Figura 51 - L04 Montante - Corrosão por pites generalizada por toda extensão da viga



Fonte: Elaboração própria

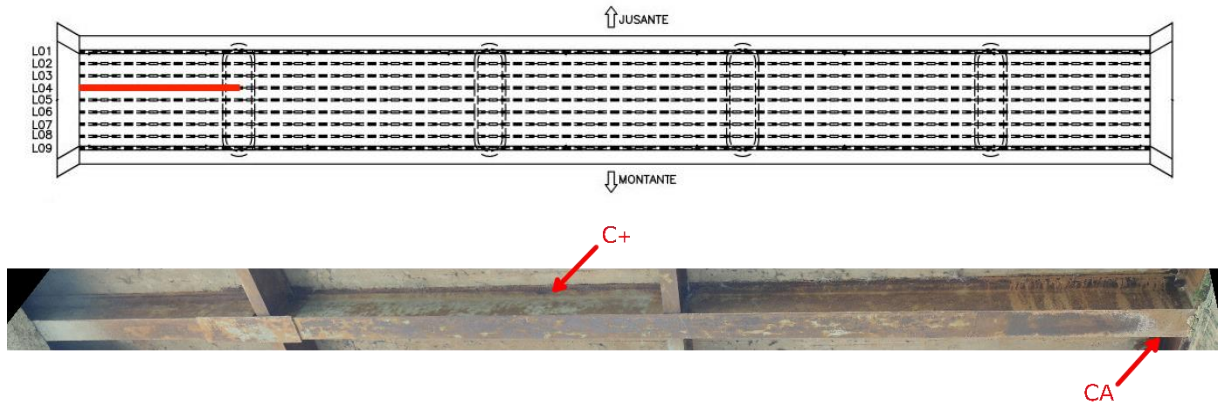
Figura 52 - L04 Montante - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

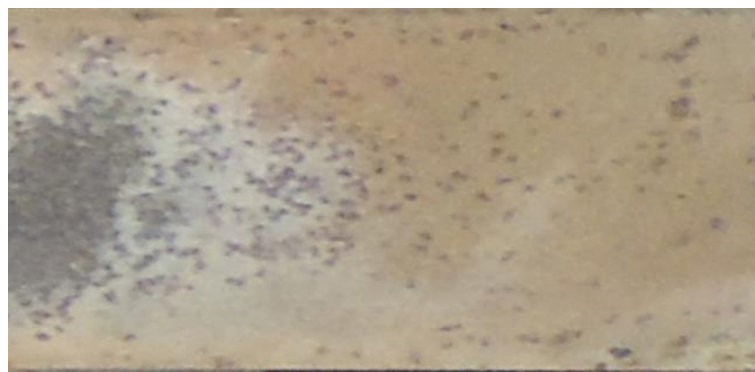
Ilustra-se na Figura 53 o lado jusante da longarina 04. Em sequência, na Figura 54 e na Figura 55, pode-se ver em sequência, a corrosão alveolar e a corrosão mais avançada.

Figura 53 - Anomalias na viga L04 Jusante



CA: Corrosão alveolar
 C+: Corrosão mais avançada
 Fonte: Elaboração própria

Figura 54 - L04 Jusante - Corrosão alveolar



Fonte: Elaboração própria

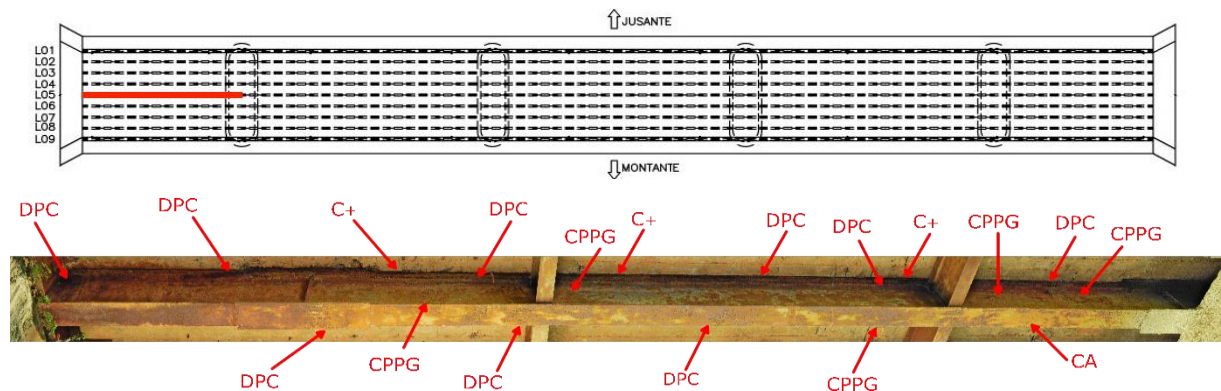
Figura 55 - L04 Jusante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

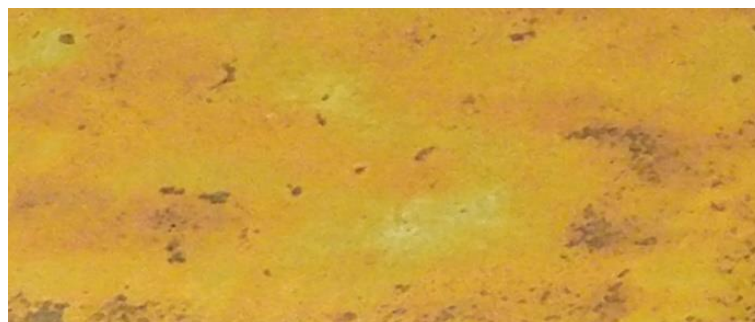
As anomalias encontradas no lado montante da viga longarina 06 estão demonstradas na Figura 56. Em sequência, corrosão alveolar, corrosão mais avançada, corrosão por pites generalizada e descascamento por corrosão estão sendo representadas, respectivamente, nas Figuras 57,58,59 e 60.

Figura 56 - Anomalias na viga L05 Montante



CA: Corrosão alveolar
C+: Corrosão mais avançada
CPPG: Corrosão por pites generalizada
DPC: Descascamento por corrosão
 Fonte: Elaboração própria

Figura 57 - L05 Montante - Corrosão alveolar



Fonte: Elaboração própria

Figura 58 - L05 Montante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

Figura 59 - L05 Montante - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

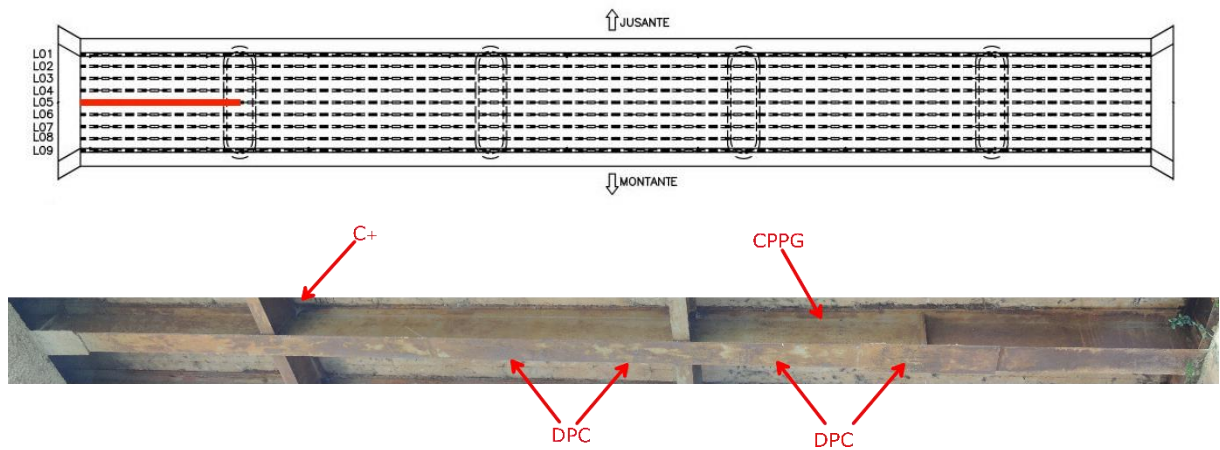
Figura 60 - L05 Montante - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 61 estão demonstradas as anomalias identificadas no lado jusante da viga longarina 05. Sendo elas corrosão mais avançada (conforme Figura 62), corrosão generalizada por pites (conforme Figura 63) e descascamento por corrosão (conforme Figura 64).

Figura 61 - Anomalias na viga L05 Jusante



C+: Corrosão mais avançada
CPPG: Corrosão por pites generalizada
DPC: Descascamento por corrosão
 Fonte: Elaboração própria

Figura 62 - L05 Jusante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

Figura 63 - L05 Jusante - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

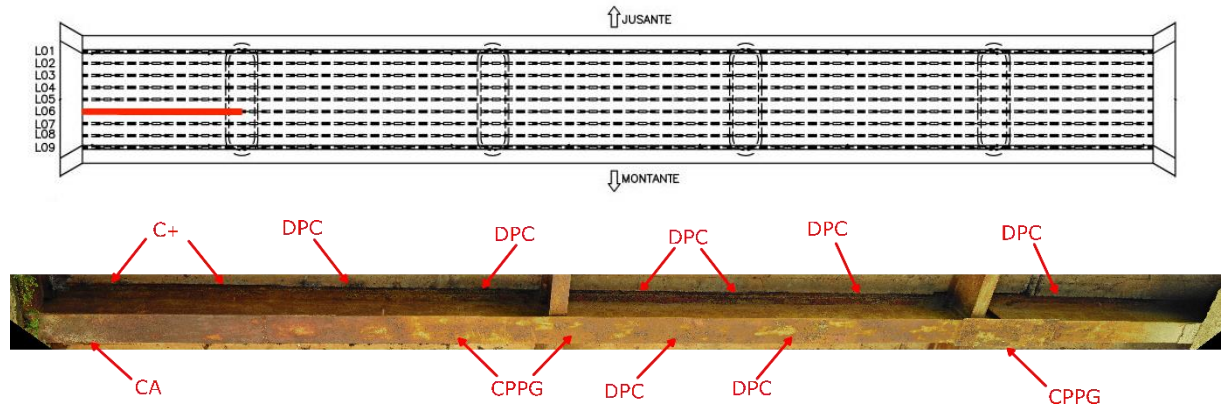
Figura 64 - L05 Jusante - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

As anomalias detectadas no lado montante da viga longarina 06 estão destacadas na Figura 65. Posteriormente, ilustrou-se através das Figuras 65, 66, 67 e 68, em sequência, a corrosão alveolar, corrosão mais avançada, corrosão por pites generalizada e descascamento por corrosão.

Figura 65 - Anomalias na viga L06 Montante



CA: Corrosão alveolar
C+: Corrosão mais avançada
CPPG: Corrosão por pites generalizada
DPC: Descascamento por corrosão
 Fonte: Elaboração própria

Figura 66 - L06 Montante - Corrosão alveolar



Fonte: Elaboração própria

Figura 67 - L06 Montante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

Figura 68 - L06 Montante - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

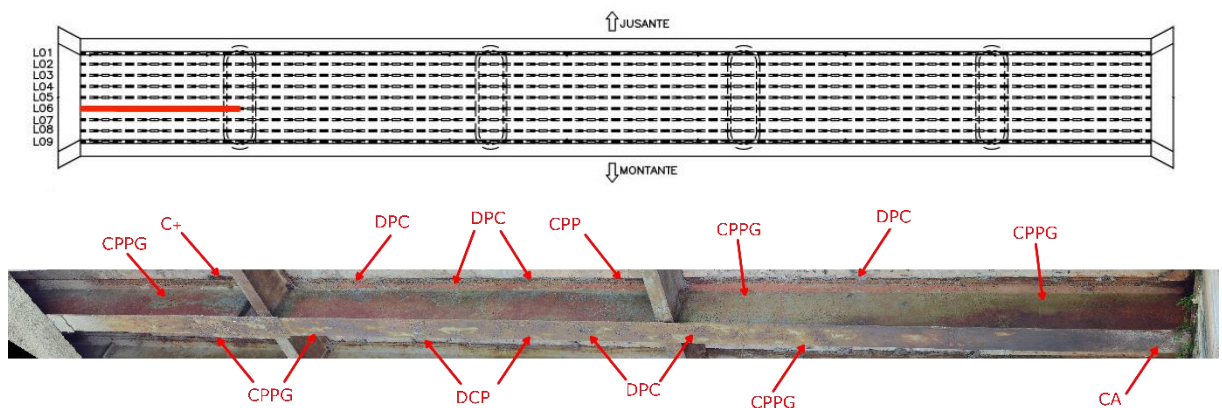
Figura 69 - L06 Montante - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 70 são apresentadas as anomalias identificadas no lado jusante da viga longitudinal 06. Em seguida, nas figuras 70, 71, 72, 73 e 74 destacam-se, respectivamente, corrosão alveolar, corrosão mais avançada, corrosão por pites, corrosão por pites generalizada e descascamento por corrosão.

Figura 70 - Anomalias na viga L06 Jusante



CA: Corrosão alveolar
 C+: Corrosão mais avançada
 CPP: Corrosão por pites
 CPPG: Corrosão por pites generalizada
 DPC: Descascamento por corrosão
 Fonte: Elaboração própria

Figura 71 - L06 Jusante - Corrosão alveolar



Fonte: Elaboração própria

Figura 72 - L06 Jusante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

Figura 73 - L06 Jusante - Corrosão por pites



Fonte: Elaboração própria

Figura 74 - L06 Jusante - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

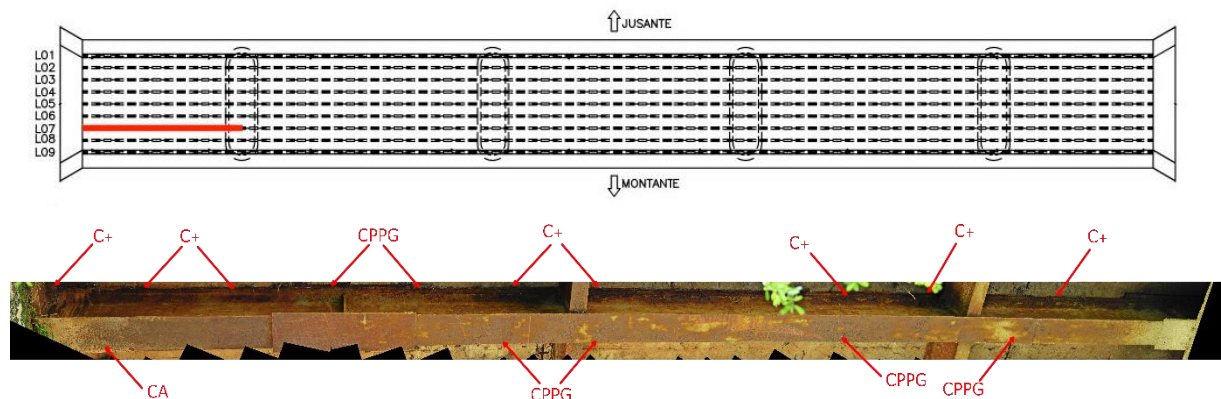
Figura 75 - L06 Jusante - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

A Figura 76, exibe-se as anomalias detectadas no lado montante da viga longarina 04. Posteriormente, nas Figuras 77, 78 e 79 tem-se, em sequência, corrosão alveolar, corrosão mais avançada, corrosão por pites generalizada e descascamento por corrosão.

Figura 76 - Anomalias na viga L07 Montante



CA: Corrosão alveolar
C+: Corrosão mais avançada
CPPG: Corrosão por pites generalizada
DPC: Descascamento por corrosão
 Fonte: Elaboração própria

Figura 77 - L07 Montante - Corrosão alveolar



Fonte: Elaboração própria

Figura 78 - L07 Montante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

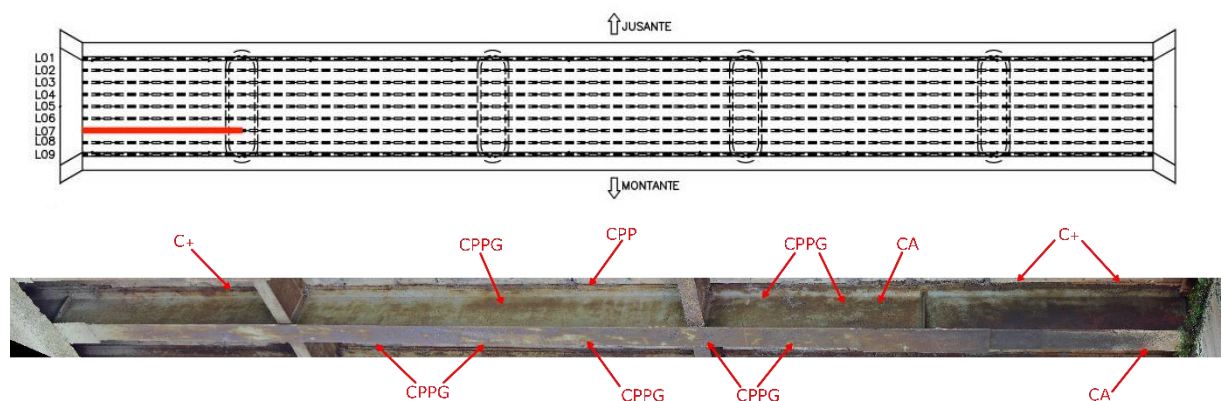
Figura 79 - L07 Montante - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

As anomalias detectadas no lado jusante da viga longarina 07 podem ser vistas na Figura 80. Posteriormente, nas figuras 79, 80 e 81, ilustram-se respectivamente, corrosão alveolar, corrosão mais avançada, corrosão por pites e corrosão por pites generalizada.

Figura 80 - Anomalias na viga L07 Jusante



CA: Corrosão alveolar
C+: Corrosão mais avançada
CPP: Corrosão por pites
CPPG: Corrosão por pites generalizada
 Fonte: Elaboração própria

Figura 81 - L07 Jusante - Corrosão alveolar



Fonte: Elaboração própria

Figura 82 - L07 Jusante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

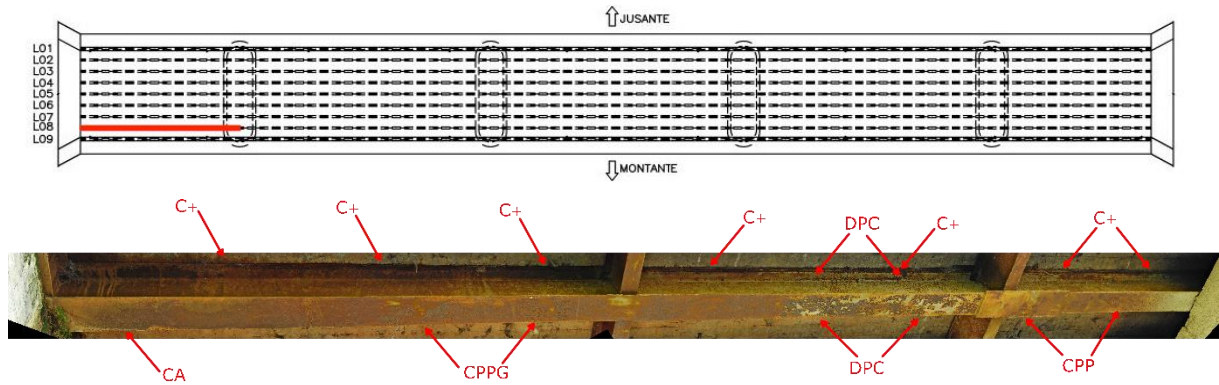
Figura 83 - L07 Jusante - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 84, estão demonstradas as anomalias detectadas no lado montante da viga longarina 08. Em sequência, nas figuras 85, 86, 87 e 88 ilustram-se, respectivamente, a corrosão alveolar, corrosão mais avançada, corrosão por pites, corrosão por pites generalizada e descascamento por corrosão.

Figura 84 - Anomalias na viga L08 Montante



CA: Corrosão alveolar
C+: Corrosão mais avançada
CPP: Corrosão por pites
CPPG: Corrosão por pites generalizada
DPC: Descascamento por corrosão
 Fonte: Elaboração própria

Figura 85 - L08 Montante - Corrosão alveolar



Fonte: Elaboração própria

Figura 86 - L08 Montante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

Figura 87 - L08 Montante - Corrosão por pites



Fonte: Elaboração própria

Figura 88 - L08 Montante - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

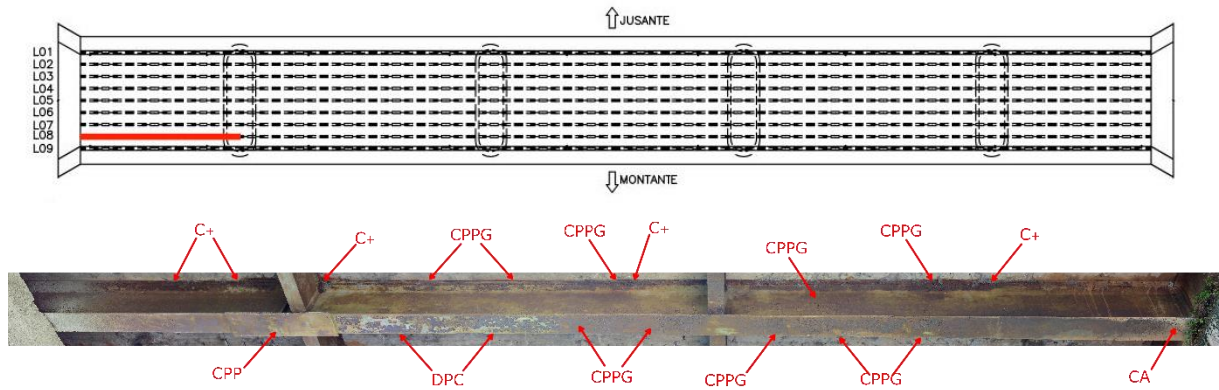
Figura 89 - L08 Montante - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 90 tem-se as anomalias detectadas no lado jusante da viga longarina 08. Em seguida, nas Figuras 90, 91, 92, 93 e 94 estão evidenciadas, respectivamente, corrosão alveolar, corrosão mais avançada, corrosão por pites, corrosão por pites generalizada e o descascamento por corrosão.

Figura 90 - Anomalias na viga L08 Jusante



CA: Corrosão alveolar
C+: Corrosão mais avançada
CPP: Corrosão por pites
CPPG: Corrosão por pites generalizada
DPC: Descascamento por corrosão
 Fonte: Elaboração própria

Figura 91 - L08 Jusante - Corrosão alveolar



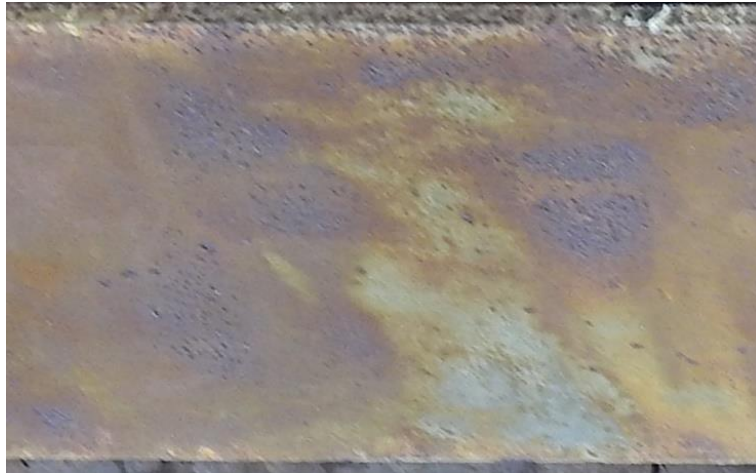
Fonte: Elaboração própria

Figura 92 - L08 Jusante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

Figura 93 - L08 Jusante - Corrosão por pites



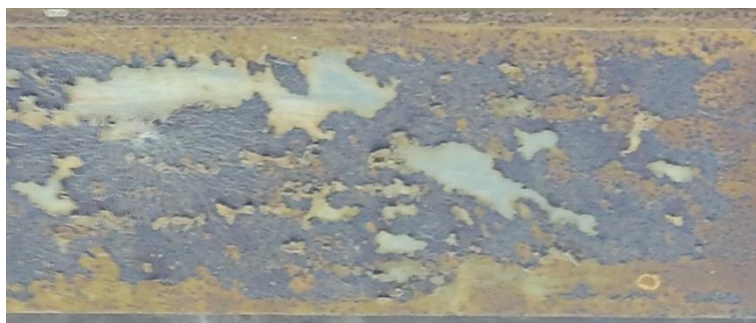
Fonte: Elaboração própria

Figura 94 - L08 Jusante - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

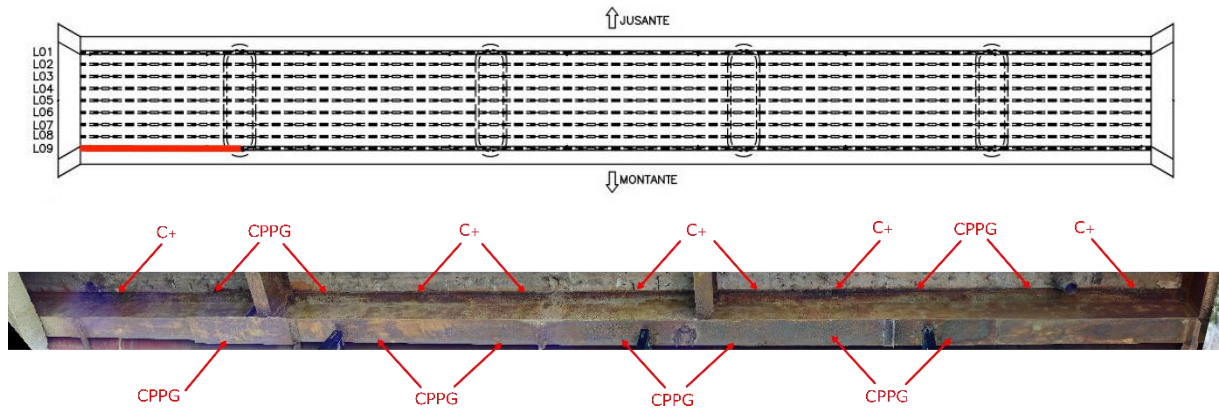
Figura 95 - L08 Jusante - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

As anomalias ilustradas na Figura 96 pertencem ao lado jusante da longarina 09. Em sequência, nas Figura 97 e Figura 98 tem-se, respectivamente, corrosão mais avançada e corrosão por pites generalizada.

Figura 96 - Anomalias na viga L09 Jusante



C+: Corrosão mais avançada
CPPG: Corrosão por pites generalizada
 Fonte: Elaboração própria

Figura 97 - L09 Jusante - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

Figura 98 - L09 Jusante - Corrosão por pites generalizada

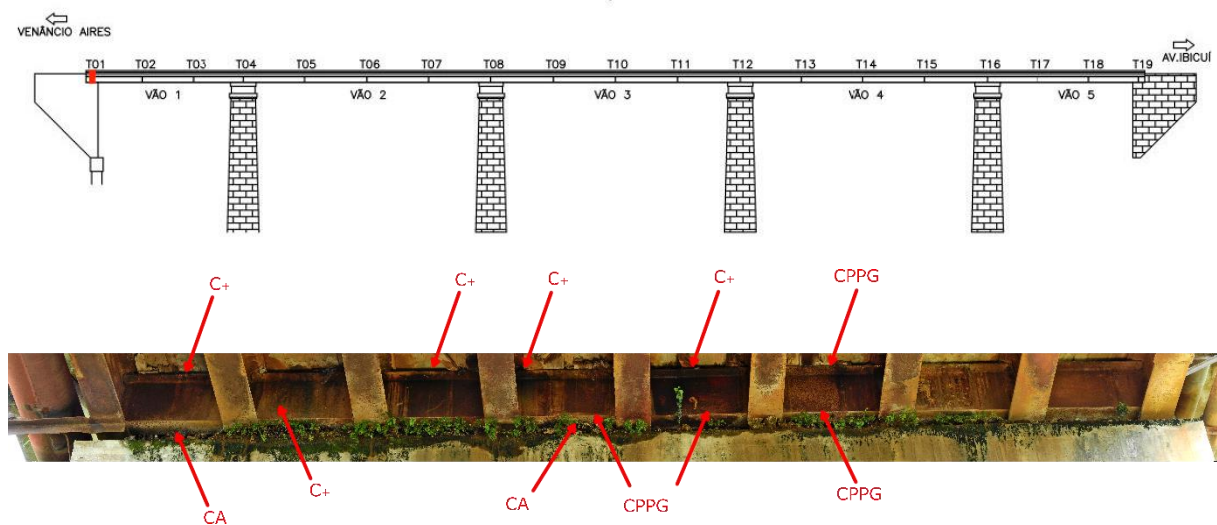


Fonte: Elaboração própria

4.2 Vigas transversinas

A transversina 01, lado AB, apresentada na Figura 99, apresentou corrosão alveolar, corrosão avançada e corrosão por pites generalizada, ilustradas, respectivamente, nas Figuras 100, 101 e 102.

Figura 99 - Anomalias na viga T01AB



CA: Corrosão alveolar
 C+: Corrosão mais avançada
 CPPG: Corrosão por pites generalizada
 Fonte: Elaboração própria

Figura 100 - T01AB - Corrosão alveolar



Fonte: Elaboração própria

Figura 101 - T01AB - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

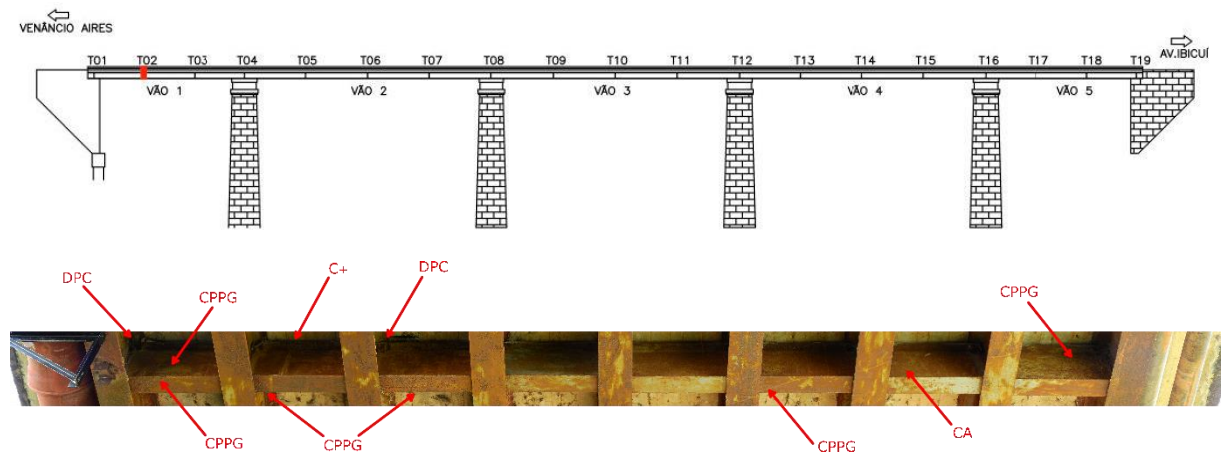
Figura 102 - T01AB - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

Na transversina 02, lado AB, ilustrada na Figura 103, identificou-se corrosão alveolar, corrosão avançada, corrosão por pites generalizada e descascamento por corrosão, ilustradas, respectivamente, nas figuras 104, 105, 106 e 107.

Figura 103 - Anomalias no tabuleiro T02AB



CA: Corrosão alveolar
C+: Corrosão mais avançada
CPPG: Corrosão por pites generalizada
DPC: Descascamento por corrosão
 Fonte: Elaboração própria

Figura 104 - T02AB - Corrosão alveolar



Fonte: Elaboração própria

Figura 105 - T02AB - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

Figura 106 - T02AB - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

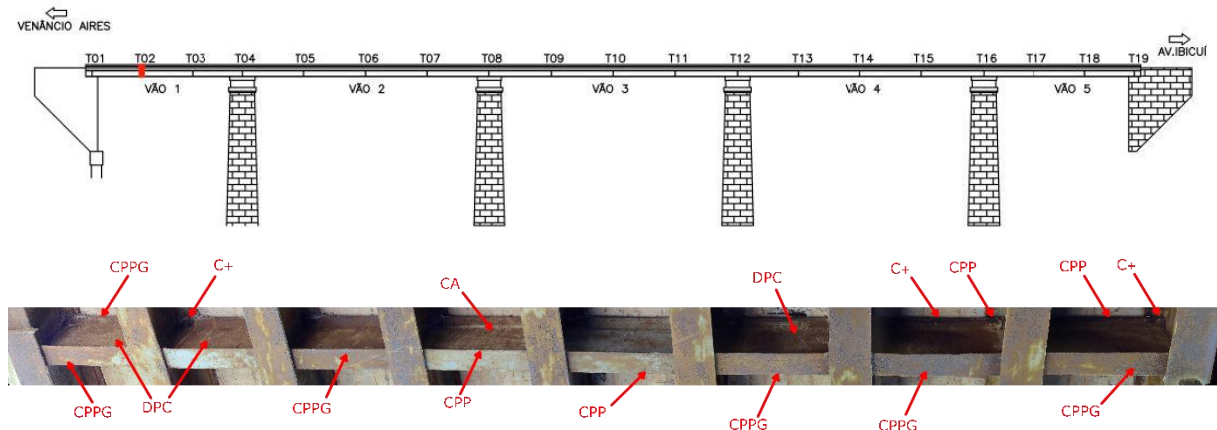
Figura 107 - T02AB - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 108 são apresentadas as anomalias identificadas no lado VA da viga transversina 02. Em seguida, nas figuras 109, 110, 111 e 112 se ilustram, respectivamente, corrosão alveolar, corrosão mais avançada, corrosão por pites, corrosão por pites generalizada e descascamento por corrosão.

Figura 108 - Anomalias na viga transversina T02VA



CA: Corrosão alveolar
C+: Corrosão mais avançada
CPP: Corrosão por pites
CPPG: Corrosão por pites generalizada
DPC: Descascamento por corrosão
 Fonte: Elaboração própria

Figura 109 - T02VA - Corrosão alveolar e corrosão por pites



Fonte: Elaboração própria

Figura 110 - T02VA - Corrosão mais avançada



Fonte: Elaboração própria

Figura 111 - T02VA - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

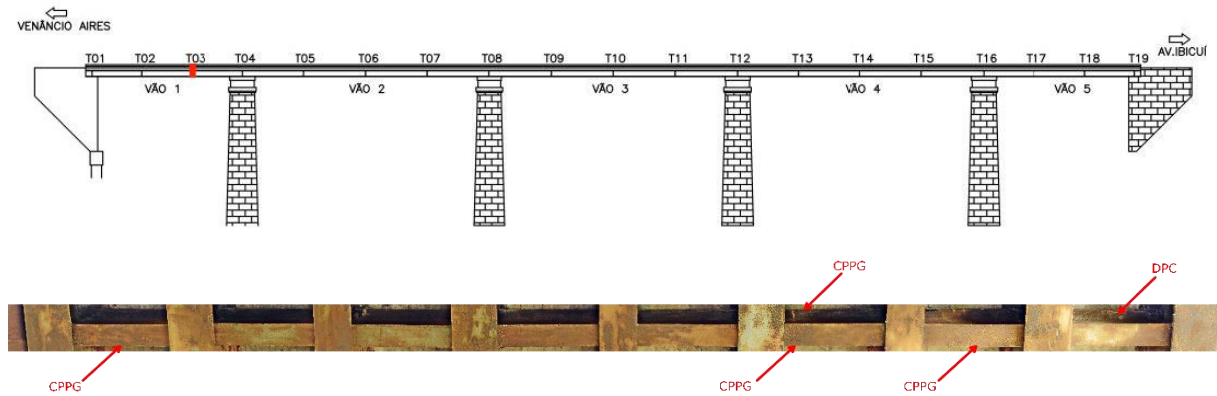
Figura 112 - T02VA - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

O lado VA da transversina 03, conforme Figura 113, apresenta corrosão por pites generalizada e descascamento por corrosão ilustrados, respectivamente nas Figura 114 e 115.

Figura 113 - Anomalias na viga transversina T03VA



CPPG: Corrosão por pites generalizada

DPC: Descascamento por corrosão

Fonte: Elaboração própria

Figura 114 - T03VA - Corrosão por pites generalizada



Fonte: Elaboração própria

Figura 115 - T03VA - Descascamento por corrosão



Fonte: Elaboração própria

Para melhor visualização dos resultados das manifestações patológicas catalogadas, montou-se uma ficha de inspeção, como pode ser observada no Quadro 5:

Quadro 5 - Ficha de identificação de manifestações patológicas

FICHA DE IDENTIFICAÇÃO							
Ponte: Borges de Medeiros							
Elemento		Manifestações Patológicas					
		Corrosão uniforme -	Corrosão alveolar (CA)	Corrosão mais avançada (C+)	Corrosão por pites (CPP)	Corrosão por pites generalizada (CPPG)	Descascamento por corrosão (DPC)
L01	Montante	X	-	X	-	X	-
	Jusante	X	-	-	-	-	-
	Inferior	X	-	-	-	-	-
L02	Montante	X	X	X	-	X	X
	Jusante	X	-	-	X	-	-
	Inferior	X	-	-	-	X	X
L03	Montante	X	X	X	-	X	X
	Jusante	X	-	X	-	-	-
	Inferior	X	-	-	-	X	X
L04	Montante	X	-	X	-	X	-
	Jusante	X	-	X	-	-	-
	Inferior	X	X	-	-	-	X
L05	Montante	X	-	X	X	X	X
	Jusante	X	-	X	-	X	-
	Inferior	X	X	-	-	X	X
L06	Montante	X	-	X	-	X	X
	Jusante	X	-	X	X	X	X
	Inferior	X	X	-	-	X	X
L07	Montante	X	-	X	-	X	-
	Jusante	X	X	X	X	X	-
	Inferior	X	X	-	-	X	-
L08	Montante	X	-	X	-	X	X
	Jusante	X	-	X	-	X	-
	Inferior	X	X	-	X	X	X
L09	Montante	Não foi possível realizar a análise					
	Jusante	X	-	X	-	X	-
	Inferior	X	-	-	-	X	-
T01	AB	X	-	X	-	X	-
	VA	Não foi possível realizar a análise					
	Inferior	X	X	-	-	-	-

Continua

Conclusão

FICHA DE IDENTIFICAÇÃO							
Ponte: Borges de Medeiros							
Elemento	Corrosão uniforme	Corrosão alveolar (CA)	Corrosão mais avançada (C+)	Corrosão por pites (CPP)	Corrosão por pites generalizada (CPPG)	Descascamento por corrosão (DPC)	
T02	AB	X	-	X	-	X	X
	VA	X	X	X	X	X	X
	Inferior	X	X	-	X	X	X
T03	AB	Não foi possível realizar a análise					
	VA	X	-	-	-	X	X
	Inferior	X	-	-	-	X	-

Fonte: Elaboração própria

As fotografias do lado montante apresentaram qualidade superior às tiradas do lado jusante. Um dos fatores determinantes foi o horário da segunda inspeção, que favoreceu a iluminação do lado montante, mas resultou em fotos superexpostas no lado jusante. Além disso, a maior facilidade em encontrar ângulos favoráveis contribuiu para a melhor qualidade das imagens do lado montante.

Em decorrência disto, observou-se que algumas imagens têm qualidade superior às outras e que, ao visualizar algumas vigas pelo lado jusante, certas anomalias na parte inferior das vigas não foram percebidas, mas foram identificadas quando analisadas pelo lado montante.

4.3 Possíveis causas das manifestações patológicas nas vigas

A corrosão uniforme encontrada em todas as vigas, tanto longarinas quanto transversinas, deve-se ao ambiente úmido no local, sendo mais intensa nas vigas centrais, que recebem menos luz solar do que as das extremidades. A corrosão está mais avançada em alguns pontos, onde se identificam áreas que recebem mais umidade, seja por estarem localizadas nas abas do “T” da viga, onde há maior contato com a parte inferior do tabuleiro (devido ao acúmulo de água e condensação), ou por estarem próximas de musgo ou das saídas de escoamento de água, como os canos.

A corrosão uniforme degradou a película apassivadora existente nessas vigas, e, como não foi realizada nenhuma manutenção, surgiram pontos de corrosão por pites e corrosão alveolar, sendo a primeira mais recorrente e de forma generalizada em várias vigas. Em alguns

pontos, a corrosão localizada foi mais intensa resultando no descascamento de parte da cobertura das vigas, tendo ela aparecido de maneira recorrente no lado a montante das vigas 02,03,05,06 e 08, lado este que recebe incidência de luz solar na direção sul. Em contrapartida, apareceu do lado jusante, lado que recebe incidência de luz solar norte, apenas na viga 06, viga está localizada bem no centro da ponte, e pegando menos sol, mesmo em seu lado norte.

4.4 Soluções propostas para as manifestações patológicas nas vigas

Para corrigir a corrosão das vigas de aço, é essencial realizar uma limpeza que remova a sujeira e a camada corroída, seguida pela aplicação de um revestimento protetor adequado. A norma ISO 8501-1 (ISO, 2007) é uma referência útil para orientar essa escolha, exigindo a identificação visual do nível de corrosão, que deve se enquadrar em um dos quatro níveis definidos pela norma. A ISO 8501-1 descreve diversos métodos de preparação de superfície para substratos de aço antes da aplicação de tintas e produtos similares, mas não especifica qual método deve ser usado, deixando essa decisão a cargo do responsável. Ela apenas relaciona o grau de limpeza ao grau de corrosão dentro do método escolhido.

Dos métodos expostos nesta norma tem-se:

- Jateamento abrasivo: técnica eficiente que projeta partículas abrasivas contra a superfície do aço, removendo contaminantes e criando uma rugosidade adequada para a aplicação de um novo revestimento. Indicado para áreas com corrosão intensa;
- Tratamento com ferramentas manuais e mecânicas: envolve o uso de escovas metálicas, lixas, raspadores e outras ferramentas para remover a corrosão e preparar a superfície;
- Limpeza com chama: pode ser utilizada para remover contaminantes como tintas antigas, óleo e graxa.

Após a preparação adequada da superfície, conforme os padrões da ISO 8501-1, é possível aplicar um novo revestimento protetor. Esse revestimento ajudará a prevenir futuras corrosões e a manter a integridade estrutural das vigas. A escolha do revestimento deve considerar o ambiente ao qual as vigas estão expostas, garantindo assim uma proteção duradoura.

É importante destacar que, ao lidar com vigas que apresentam diferentes graus de corrosão, é necessário considerar o pior caso durante o processo de limpeza. Porém, na escolha do revestimento protetor, deve-se levar em conta o estado da superfície após a limpeza, não antes.

Vale ressaltar que dependendo do estado final do elemento após limpeza, deve ser avaliado se é necessário reforço ou substituição, conforme Montoya (2016).

4.5 Tabuleiro

No tabuleiro da ponte foram identificados diversos pontos com armaduras expostas e corroídas, conforme apresentado na Figura 116.

Figura 116 - Vista inferior do tabuleiro com diversas manifestações patológicas identificadas



Fonte: Elaboração própria

Segue abaixo algumas imagens aumentadas para melhor visualização:

Figura 117 - Deslocamento do concreto e corrosão das armaduras - detalhe 1



Fonte: Elaboração própria

Figura 118 - Deslocamento do concreto e corrosão das armaduras - detalhe 2



Fonte: Elaboração própria

Figura 119 - Desplacamento do concreto e corrosão das armaduras - detalhe 3



Fonte: Elaboração própria

Figura 120 - Desplacamento do concreto e corrosão das armaduras - detalhe 4



Fonte: Elaboração própria

4.6 Possíveis causas das manifestações patológicas no tabuleiro

O tabuleiro da ponte exibe em diversos pontos armaduras expostas e corroídas. Segundo Vitório (2002), acredita-se que a corrosão das armaduras na laje da ponte ocorreu inicialmente

devido a fatores como a porosidade do concreto, trincas ou cobrimento inadequado. Essas condições permitem que agentes agressivos penetrem no concreto, atingindo e iniciando o processo corrosivo nas armaduras de aço. Com o tempo, a corrosão ocasiona uma expansão das armaduras, que progressivamente enfraquecem o concreto ao seu redor, levando ao eventual rompimento e exposição visível das armaduras ao ambiente. Esse rompimento do concreto expõe completamente as armaduras à ação contínua de agentes corrosivos, acelerando ainda mais o processo de deterioração estrutural da laje da ponte.

4.7 Soluções propostas para as manifestações patológicas no tabuleiro

Segundo Helene (1992), é recomendado remover cuidadosamente o concreto afetado e os produtos de corrosão, garantindo uma limpeza completa da superfície. Em casos de corrosão mais avançada, é essencial reforçar o componente estrutural afetado.

Montoya indica que, para áreas com perda de seção e danos nas armaduras, deve-se:

- Utilizar martelletes pneumáticos leves (6 a 10 kg) para remover o concreto de cobrimento das áreas demarcadas até que as barras de aço estejam visíveis. A região a ser tratada deve incluir de 5 a 10 cm de concreto ao redor da área afetado;
- Todas as barras devem ser tratadas para remover toda corrosão, utilizando jateamento abrasivo com escória de cobre;
- Ao final do jateamento, deve-se inspecionar visualmente para avaliar se há perda de mais de 10% no diâmetro original;
- Caso a perda de seção seja inferior a 10%, deve-se refazer o jateamento ou escovar as armaduras com cerdas de aço;
- Caso a perda de seção seja superior a 10%, deve-se substituir (por transpasse ou solda) as armaduras por novas com as mesmas características das existentes;
- Em seguida, aplica-se uma ponte adesiva e posteriormente preenche-se a área faltante de concreto com uma argamassa modificada por polímeros, aplicada manualmente. O responsável pela aplicação deve usar luvas e pressionar a argamassa contra o substrato. A pressão deve ser suficiente para evitar a formação de vazios nas camadas, que devem ter no máximo 25 mm de espessura, e preencher todo o interior da cavidade, incluindo atrás das armaduras.
- O restante do preenchimento deve ser feito com colher de pedreiro ou desempenadeira de madeira, comprimindo a argamassa firmemente contra a superfície;

- Para o acabamento final, utilizar desempenadeira ou régua metálica, ou ainda uma esponja macia levemente umedecida.
- Durante a cura, que dura 7 dias, a superfície deve ser constantemente molhada com água limpa.

O tabuleiro também apresentou, conforme mostrado na Figura 121 e na Figura 122, uma deterioração do concreto, que a deslocamento. Isso se deve à infiltração de água na laje, provavelmente causada por uma deficiência ou ausência dos aparelhos de drenagem, por um alto grau de porosidade do concreto ou pela falta de impermeabilização adequada da laje.

Figura 121 - Manchas de infiltração no tabuleiro - detalhe 1



Fonte: Elaboração própria

Figura 122 - Manchas de infiltração no tabuleiro - detalhe 2



Fonte: Elaboração própria

Seria recomendável realizar impermeabilização na parte superior da laje e limpeza na parte inferior.

4.8 Demais Elementos

No encontro 01, foram identificados pontos com segregação do concreto, possivelmente devido a falhas na concretagem, como inadequado adensamento do concreto, por exemplo, resultando na separação dos agregados graúdos e miúdos. Também se observou a presença de musgo por conta da vegetação ao redor.

Figura 123 - Pilar de concreto com pontos de segregação



Fonte: Elaboração própria

Figura 124 - Segregação do concreto



Fonte: Elaboração própria

Figura 125 – Pilar em alvenaria com camada de reforço de argamassa armada



Fonte: Elaboração própria

4.9 Classificação pela Norma NBR 9452:2023

Não foi possível realizar a análise conforme a norma vigente ABNT NBR 9452:2023 devido às anomalias identificadas não se enquadrarem nas tabelas fornecidas por essa norma. As tabelas apresentam opções limitadas e, caso uma patologia não se enquadre nelas, não há como atribuir uma nota correspondente. Além disso, algumas anomalias requerem acesso direto ao elemento para uma classificação adequada, não sendo possível classificá-las apenas por meio de análise visual.

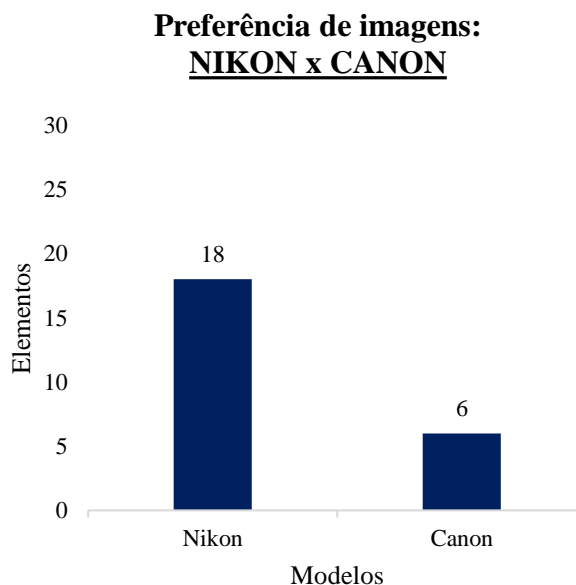
4.10 Análise das Câmeras utilizadas

Além das resoluções comentadas no item 4.2 acerca da influência da posição solar e ângulos, algumas considerações também foram feitas sobre a divergência de qualidade entre as diversas imagens coletadas.

Durante a terceira inspeção, cujo foco era capturar imagens faltantes, as fotos foram tiradas com um zoom mais amplo para facilitar o processamento das imagens. No entanto, isso resultou em qualidade inferior em comparação às imagens tiradas nas duas inspeções anteriores. Além disso, a partir da longarina 06, as fotos ficaram mais escuras. Por esse motivo, foram utilizadas algumas imagens da primeira inspeção, que apresentavam melhor qualidade. Assim, as fotos panorâmicas das longarinas a jusante das vigas 01 a 05, capturadas na terceira inspeção, possuem qualidade inferior em relação às fotos jusantes das longarinas 06 a 08, onde foi utilizado um zoom maior durante a primeira inspeção.

Notou-se também que ao compararmos os resultados das imagens tiradas com a câmera NIKON com os da CANON, as tiradas com a primeira, aparentaram ter um resultado de maior qualidade. Conforme pode ser visto no Gráfico 2, das 24 imagens panorâmicas, 18 foram tiradas com a câmera NIKON.

Gráfico 2 - Preferência de imagens: NIKON x CANON



Fonte: Elaboração própria

Apesar dessas observações, é importante ressaltar que não se pode tirar uma conclusão definitiva sobre a superioridade de qualidade entre as câmeras. Na segunda inspeção, as fotos foram divididas entre jusante e montante, com a NIKON utilizada para as imagens de montante e a CANON para as de jusante. Para validar a superioridade da NIKON, seria necessário refazer as imagens de montante no mesmo horário e com características semelhantes usando a CANON. Portanto, o que se obter-se dos resultados acima é que a qualidade final das imagens é influenciada por uma combinação de fatores, incluindo iluminação, horário, ângulo de captura e o modelo da câmera utilizada.

5 CONCLUSÕES

A vistoria realizada na ponte Borges de Medeiros sobre o rio Ibirapuitã permitiu identificar e documentar diversas manifestações patológicas na estrutura. As principais anomalias observadas incluíram infiltração de água na laje, deterioração do concreto e armaduras expostas na parte inferior do tabuleiro. A falta de manutenção regular e as dificuldades de acesso contribuíram significativamente para o estado atual da ponte. Esta estrutura, devido à sua antiguidade, não foi projetada com a previsão de futuras manutenções, o que, aliado à sua localização de difícil acesso, complica a realização de inspeções e intervenções de manutenção.

Esses fatores resultaram em anomalias que poderiam ter sido reparadas anteriormente e de forma mais econômica. É amplamente reconhecido que quanto mais uma estrutura se deteriora, mais caros se tornam os reparos necessários. Portanto, seria de grande valia que futuras inspeções sejam realizadas para compreender melhor e mais detalhadamente as anomalias encontradas.

A análise evidenciou a necessidade de revisões na norma ABNT NBR 9452:2023, que, apesar de recente, demonstrou-se restritiva e desatualizada, não atendendo plenamente às necessidades de classificação da vasta gama de anomalias que estruturas diversas, como pontes, podem apresentar. Para avanços significativos na área, sugere-se uma revisão da norma, incorporando tecnologias modernas, como drones.

Em relação ao uso de câmeras de alta resolução, constatou-se que elas são um artifício interessante, porém, não suficientes, por si só, para uma classificação precisa da situação estrutural das pontes. Essas câmeras são eficazes para a documentação e catalogação das condições das estruturas. Nesse sentido, em conjunto com os softwares utilizados, o uso das câmeras mostrou-se satisfatório, pois algumas imagens proporcionaram uma visão ampla dos elementos, possibilitando um zoom detalhado das anomalias encontradas e oferecendo uma gama maior de possibilidades de análise. No entanto, é importante destacar que existem limitações significativas, especialmente sem o uso de drones, que dificultam o acesso a determinados pontos da ponte. Portanto, a combinação de câmeras de alta resolução e drones pode ser essencial para uma inspeção mais abrangente e precisa, ampliando o alcance e a eficácia do processo de manutenção preventiva.

Por fim, este trabalho reafirma a necessidade de uma mudança de mentalidade e de um olhar mais preventivo para as pontes e viadutos do Brasil. A manutenção preventiva e o uso de

tecnologias avançadas podem assegurar a longevidade e a segurança dessas estruturas, contribuindo para a infraestrutura nacional de forma mais eficiente e econômica.

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam analisados os demais vãos da ponte Borges de Medeiros. Outra opção seria focar em comparar metodologias de classificação de pontes e viadutos, com o objetivo de trazer um questionamento sobre possíveis melhorias na norma vigente.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Caroline Bastos Furtado. **Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado**. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1**: Edificações habitacionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9452**: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9575**: Impermeabilização - Seleção e Projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9575**: Impermeabilização - Seleção e Projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2010

CARDOSO, Manoel Gonçalves. **Avaliação da integridade estrutural de pontes metálicas da ferrovia turística Ouro Preto/Mariana (MG) por meio de modelagem numérica e técnicas laboratoriais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Ouro Preto, 2007.

CANON. EOS Rebel T5i overview. **Canon**. 2013. Disponível em: https://www.canon.ca/en/product?name=EOS_Rebel_T5i&category=/en/products/Cameras/D_SLR-Cameras/Entry-level. Acesso em: 13 jul. 2024.

COSTA, Hugo Oliveira. **Avaliação de patologias em obras de arte especiais utilizando a metodologia GNE/UNB**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2016.
danos e prejuízos em obras. 1. ed. São Paulo: Pini, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (Brasil). **Manual de inspeção de pontes rodoviárias**. Rio de Janeiro, RJ, 2004. 253 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/709_manual_de_inspecao_de_pontes_rodoviaras.pdf.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (Brasil). **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. Rio de Janeiro, RJ, 2010. 159 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/744_manual_recuperacao_pontes_viadutos.pdf.

DÓREA, S. C. L.; SANTOS, D. de G.; SALES, A. T. C.; SILVEIRA, P. M. D. Avaliação patológica da estrutura de concreto armado e dos componentes de uma edificação construída em 1914. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 6, n. 12(b), 2011. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/317>.

FRAZÃO, Yuri Abas. Carbonatação do concreto. **Spot**. 2020. Disponível em: <https://spotcursos.com.br/blogs/patologia-da-construcao/posts/carbonatacao-do-concreto>. Acesso em: 05 out. 2023.

GIOVANNETTI, Ana Carolina V. P. **Avaliação do estado de conservação de pontes - estudo de caso**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2014.

HELENE, Paulo R.L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

HENRIQUES, Glauco Fonsêca; TAVARES, Jennef Carlos; TERCEIRO NETO, Antônio Dias de Lima. Carbonatação natural e modelos de previsão para concretos de cimento Portland: uma revisão. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v. 60, n. 1, p. 102-119, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/6023>. Acesso em: 28 jun. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8501-1**: Preparation of steel substrates before application of paints and related products – visual assessment of surface cleanliness; part 1: rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coating. Genebra: ISO, 2007

LÜBECK, André; MILANI, Alisson Simonetti; MARANGON, Ederli; OLIVEIRA, Marcelo de Jesus Dias de. **Parecer técnico Ponte Borges de Medeiros Alegre-RS**. Universidade Federal do Pampa, 2015.

MARCELLI, Mauricio. **Sinistros na Construção Civil: causas e soluções para**

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

MONTOYA, Rodolfo. **Manual de manutenção de pontes ferroviárias**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2016.

NIKON. Compact digital cameras (COOLPIX series). **Nikon**. 2015. Disponível em: <https://imaging.nikon.com/imaging/lineup/coolpix/>. Acesso em: 13 jul. 2024.

PFEIL, Walter. **Pontes em concreto armado: elementos de projetos, solicitações, dimensionamento**. 1. ed. Rio Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

SANTOS, Bruno; SILVA, Jean Carlos. **Patologia em Pontes - Estudo de caso em patologias da Ponte Pedro Ivo Campos e orientação de reforma**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017.

SARTORTI, Artur Lenz. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Campinas, 2008.

SILVA, Anderson Ylgner Oliveira; GODOY, Gustavo Henrique Albernaz Maia de. **Fissuras no concreto armado: causas, consequências, formas de mitigação e reparos**. 2022. Trabalho

de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2022

SOUZA, Vicente Custódio de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.

STEPHENS, Max T.; GLEESON, Brian; MASH, Jason; LI, Bingtao. **Steel bridge corrosion prevention and mitigation strategies: literature review**. Pittsburgh: University of Pittsburgh, 2019.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão**. 1. ed. Recife: CREA-PE, 2002.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. Vistorias, conservação e gestão de pontes e viadutos de concreto. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., 2006, Rio de Janeiro, **Anais [...]**. Rio de Janeiro: IBRACON, 2006.

APÊNDICE A – FICHA DE ORGANIZAÇÃO PARA VISTORIA

Vão	Longarina	Transversina	Lado	Fotógrafo	Fotos			
1	1	-	J					
			M					
	2		J					
			M					
	3		J					
			M					
	4		J					
			M					
	5		J					
			M					
	6		J					
			M					
	7		J					
			M					
	8		J					
			M					
	9		J					
			M					
	-		-	1	-			
					AB			
2		VA						
		AB						
3		VA						
		AB						

Fonte: Elaboração própria