



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Joyce Rodrigues Solano

MAPEAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTE DE  
CONCRETO ARMADO: estudo de caso no município de Palmas-TO

Palmas – TO

2019

Joyce Rodrigues Solano

MAPEAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTE DE  
CONCRETO ARMADO: estudo de caso no município de Palmas-TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Daniel Iglesias Carvalho.

Palmas – TO

2019

Joyce Rodrigues Solano

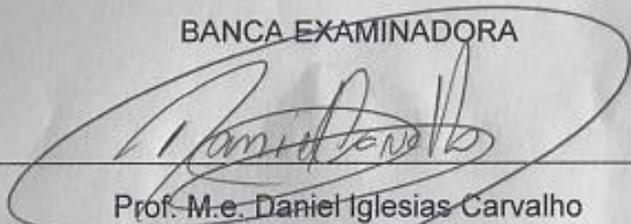
MAPEAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTE DE  
CONCRETO ARMADO: estudo de caso no município de Palmas-TO

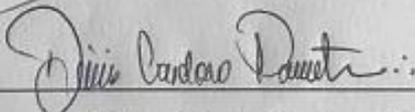
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II  
elaborado e apresentado como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil pelo Centro Universitário  
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

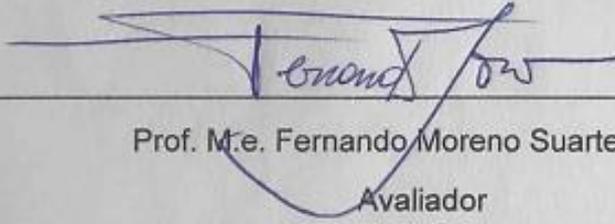
Orientador: Prof. M.e Daniel Iglesias Carvalho.

Aprovado em: 12 / 11 / 19

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. M.e. Daniel Iglesias Carvalho  
Orientador  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

  
Prof. M.e. Denis Cardoso Parente  
Avaliador  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

  
Prof. M.e. Fernando Moreno Suarte Júnior  
Avaliador  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

## **AGRADECIMENTOS**

Eu não posso começar de outra forma senão agradecendo a Deus. Sem Ele, e seus planos perfeitos sobre a minha vida, nada disso poderia acontecer. Agradecer pela força e coragem que colocou em meu coração todas as vezes que os problemas pareciam maiores.

Agradeço aos meus pais, Jeoci e Luísa, por terem sacrificado tanto por mim. Eu sempre soube o quanto a educação é prioridade pra vocês, e os orgulhar é o real motivo de tanto estudo e dedicação durante toda essa caminhada. Sem o apoio de vocês eu jamais teria chegado tão longe.

Aos meus irmãos, que sempre estiveram dispostos a me ajudar, foram companheiros, me motivaram quando parecia difícil demais vencer os desafios e me fizeram persistir durante essa jornada.

Ao meu namorado, por sua companhia, disposição e empenho nessa etapa final. Obrigada por me ajudar a fazer com que tudo isso desse certo e a me manter sempre focada no objetivo final. Aos meus amigos, por fazerem dos dias mais leves mesmo em meio ao caos e por dividirem comigo a loucura da vida acadêmica.

Ao meu orientador Daniel Iglesias pelos ensinamentos, disponibilidade, paciência, empenho e sabedoria que foram extremamente importantes para que eu concluísse esse trabalho.

E a todos que indiretamente estiveram presentes em alguma fase, que me ajudaram a concluir, me deram força e me compreenderam em qualquer circunstância, muito obrigada.

“Entrega o teu caminho ao Senhor, confia nEle, e o mais Ele fará.”

Salmos 37:5

## RESUMO

SOLANO, Joyce Rodrigues. **Mapeamento de manifestações patológicas em ponte de concreto armado**: estudo de caso no município de Palmas-TO. 2019. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2019.

O presente trabalho traz como objetivo o mapeamento das manifestações patológicas existentes em ponte localizada na Avenida principal de Palmas-TO. Além disso, aplica-se a metodologia GDE/UnB, que visa a quantificação numérica das anomalias presentes na Obra de Arte Especial, indicando seu grau de deterioração e as medidas a serem tomadas em conformidade. Diante disso, utilizou-se o estudo de caso como procedimento metodológico a fim de analisar profundamente o fenômeno presente na ponte. É possível observar que a ponte, além de ser uma estrutura construída há cerca de trinta anos atrás, não passou por muitas manutenções preventivas, permitindo que suas manifestações patológicas chegassem a um nível perigoso. A pesquisa permitiu chegar a resultados que indicam que a ponte apresenta um valor de deterioração de 167,44, o que significa que ela se encontra em estado crítico, necessitando de intervenções imediatas para que seu desempenho seja reestabelecido. Os resultados apontam que os pilares são os elementos mais deteriorados da ponte, contendo problemas patológicos como corrosão de armadura, desagregação e deslocamento do concreto. Dentre as manifestações mais encontradas estão as infiltrações e eflorescências, ambas contam com a presença de água na estrutura e sua interação com os componentes do concreto. Dessa forma, o trabalho apresenta diversas possíveis causas para as anomalias encontradas, como a água e a qualidade do concreto, assim como recomendações de reparos.

Palavras chaves: Estrutura. Patologia. Obras de arte especiais.

## **ABSTRACT**

The present work aims to map the pathological manifestations existing in a bridge located in the main avenue of Palmas-TO. In addition, the GDE / UnB methodology is applied, which aims to quantify numerically the anomalies present in the Special Artwork, indicating their degree of deterioration and the measures to be taken accordingly. Therefore, the case study was used as a methodological procedure in order to deeply analyze the phenomenon present in the bridge. It can be observed that the bridge, besides being a structure built about thirty years ago, did not undergo many preventive maintenance, allowing its pathological manifestations to reach a dangerous level. The research has led to results that indicate that the bridge has a deterioration value of 167.44, which means that it is in critical condition, requiring immediate interventions to restore its performance. The results indicate that the pillars are the most deteriorated elements of the bridge, containing pathological problems such as reinforcement corrosion, concrete breakdown and peeling. Among the most common manifestations are infiltrations and efflorescences, both with the presence of water in the structure and its interaction with the concrete components. Thus, the work presents several possible causes for the anomalies found, such as water and concrete quality, as well as repair recommendations.

Keywords: Structure. Pathology. Special works of art.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Elementos constituintes das estruturas das pontes de concreto armado.                 | 10 |
| Figura 2 - Anomalias de acordo com abertura.   | 17 |
| Figura 3 - Causas e incidência de fissuras em concreto armado.                                   | 18 |
| Figura 4 - Fluxograma para avaliação quantitativa.   | 26 |
| Figura 5 - Modelo de ficha de inspeção para pilares.   | 27 |
| Figura 6 - Fator de ponderação de fissuras (Fp).   | 28 |
| Figura 7 - Localização do Tocantins e Palmas.  | 32 |
| Figura 8 - Localização da ponte em Palmas-TO.  | 33 |
| Figura 9 - Ponte em estudo.  | 34 |
| Figura 10 – Manifestações patológicas incidentes em pontes no Brasil.                            | 38 |
| Figura 11 – Número de manifestações patológicas por ponte.                                       | 40 |
| Figura 12 – Croqui da OAE do estudo de caso.   | 41 |
| Figura 13 - Desgregação, deslocamento do concreto e corrosão das armaduras no pilar 4.           | 42 |
| Figura 14 – Desagregação, deslocamento, cobrimento deficiente e corrosão da armadura do pilar 6. | 43 |
| Figura 15 – Deslocamento do concreto, corrosão das armaduras e fissuras diagonais no pilar 6.    | 43 |
| Figura 16 - Fissuras no pilar 6.   | 44 |
| Figura 17 - Forte infiltração de água na viga transversina 6 (VT6).                              | 45 |
| Figura 18 - Manifestações patológicas na viga longitudinal 4 (VL4).                              | 46 |
| Figura 19 - Falhas de concretagem e manchas de bolor na viga longitudinal 4 (VL4).               | 46 |
| Figura 20 - eflorescência e infiltração de água na laje 8 (L8).                                  | 47 |
| Figura 21 - corrosão de armadura, infiltração de água e eflorescência na laje 16 (L16).          | 48 |
| Figura 22 - Degradação do pavimento na pista de rolamento.                                       | 49 |
| Figura 23 - Manchas de bolor e eflorescência no guarda corpo.                                    | 50 |
| Figura 24 - Fissuras mapeadas no guarda rodas direito.   | 51 |
| Figura 25 - Manchas de bolor no guarda rodas direito.  | 51 |
| Figura 26 - Fator de intensidade dos danos adotados para VL1.                                    | 53 |
| Figura 27 - Fluxograma para diagnóstico de manifestações patológicas.                            | 57 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Fatores de relevância estrutural.....   | 27 |
| Tabela 2 - Exemplo de fator de intensidade (Fi).....   | 29 |
| Tabela 3 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento.....   | 30 |
| Tabela 4 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura. ....   | 31 |
| Tabela 5 - Manifestações patológicas encontradas na ponte avaliada. ....   | 52 |
| Tabela 6 - Grau de deterioração dos elementos da família dos guarda corpos,<br>guarda rodas e pista de rolamento. .... | 55 |
| Tabela 7 - Grau de deterioração dos elementos da família das lajes e vigas<br>secundárias.....                         | 55 |
| Tabela 8 - Grau de deterioração dos elementos da família das vigas e pilares<br>principais. ....                       | 56 |
| Tabela 9 - Grau de deterioração das famílias e fator de relevância. ....   | 56 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

|      |  |
|------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas                     |
| D    | Grau de dano   |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte         |
| Fi   | Fator de intensidade do dano                                 |
| Fp   | Fator de ponderação do dano                                  |
| Fr   | Fator de relevância estrutural                               |
| Gd   | Grau de deterioração da estrutura                            |
| Gde  | Grau de deterioração do elemento                             |
| Gdf  | Grau de deterioração da família                              |
| LNEC | Laboratório Nacional de Engenharia Civil                     |
| OAE  | Obras de Arte Especiais                                      |
| PECC | Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil               |
| UnB  | Universidade de Brasília                                     |
| ZAG  | Instituto Nacional Esloveno de Construção e Engenharia Civil |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>6</b>  |
| 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA .....  | 7         |
| 1.2 OBJETIVOS .....   | 7         |
| 1.2.1 Objetivo geral .....  | 7         |
| 1.2.2 Objetivos específicos.....  | 7         |
| 1.3 JUSTIFICATIVA .....   | 8         |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....  | <b>9</b>  |
| 2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES.....   | 10        |
| 2.2 CONCRETO ARMADO .....   | 12        |
| 2.3 PATOLOGIAS EM CONCRETO ARMADO.....                                    | 13        |
| 2.3.1 Causas .....  | 15        |
| 2.3.2 Tipos de manifestações patológicas .....                            | 17        |
| 2.4 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL .....  | 22        |
| 2.5 MANUTENÇÃO.....   | 23        |
| 2.6 METODOLOGIA GDE/UNB .....   | 25        |
| 2.6.1 Origem.....   | 25        |
| 2.6.2 Formulação .....  | 26        |
| <b>3 METODOLOGIA</b> .....  | <b>32</b> |
| 3.1 OBJETO DE ESTUDO .....  | 32        |
| 3.2 PESQUISAS.....  | 34        |
| 3.3 INSPEÇÃO.....   | 35        |
| 3.4 MAPEAMENTO DAS ANOMALIAS.....   | 37        |
| 3.5 TRATAMENTO DE DADOS .....   | 37        |
| <b>4. RESULTADOS</b> .....  | <b>38</b> |
| 4.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES NO BRASIL .....                   | 38        |
| 4.2 DESCRIÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA PONTE DE PALMAS – TO ..... | 41        |
| 4.2.1 Pilares .....   | 41        |
| 4.2.2 Vigas .....   | 44        |
| 4.2.3 Lajes.....  | 47        |
| 4.2.4 Pista de rolamento .....  | 48        |
| 4.2.5 Guarda corpo .....  | 49        |
| 4.2.6 Guarda rodas .....  | 50        |
| 4.3 ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....             | 52        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UnB.....         | 53        |
| 4.5 POSSÍVEIS CAUSAS E REPAROS.....               | 57        |
| 4.5.1 Cobrimento deficiente.....                  | 58        |
| 4.5.2 Corrosão das armaduras.....                 | 59        |
| 4.5.3 Desagregação e deslocamento.....            | 61        |
| 4.5.4 Eflorescência.....                          | 62        |
| 4.5.5 Fissuras.....                               | 63        |
| 4.5.6 Infiltração de água.....                    | 64        |
| 4.5.7 Manchas de bolor.....                       | 65        |
| 4.5.8 Esmagamento.....                            | 66        |
| 4.6 MAPEAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS..... | 66        |
| <b>5. CONCLUSÃO.....</b>                          | <b>67</b> |
| 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....         | 68        |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                           | <b>69</b> |
| <b>APÊNDICES.....</b>                             | <b>73</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

As pontes de concreto foram tomando espaço entre os tipos pontes do Brasil, também intituladas Obras de Arte Especiais (OAE), e em conjunto com o aço formam o material mais utilizado para construção de estruturas do país devido às características de cada um, sua facilidade de execução e possibilidade de diversas formas. Denominado concreto armado, a junção desses dois materiais forma um componente resistente à compressão e tração.

Por muito tempo, o concreto armado foi visto como um material de durabilidade ilimitada. Hoje se sabe que ele também é um material sujeito a agentes agressivos que geram manifestações patológicas e em alguns casos se não tratadas, podem levar a estrutura a colapso.

O crescimento acelerado da construção civil trouxe consigo inovações e inconscientemente a aceitação de maiores riscos. Enquanto isso, o desenvolvimento tecnológico aconteceu mais lentamente, em alguns casos através do estudo de erros já cometidos, o que resulta na durabilidade reduzida e deterioração precoce das estruturas, que é nossa realidade atual.

Segundo Souza e Ripper (1998), patologia das estruturas é o estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das anomalias presentes nas estruturas, podendo ser classificadas em simples e complexas. Essas podem se manifestar de diversas formas na estruturas, como por fissuras, deslocamento do concreto, exposição de armaduras, entre outros.

As OAE são estruturas ainda mais suscetíveis a esses agentes devido ao local em que estão inseridos e a falta de revestimento. A umidade existente nas pontes, adicionadas às sobrecargas exercidas sobre elas são fatores que colaboram para o aparecimento dessas manifestações patológicas.

É nesse contexto que as inspeções são inseridas. Elas são necessárias para que haja a conservação das construções em geral, que é definida pelo conjunto de ações necessárias para que a estrutura mantenha as características para as quais ela foi projetada e construída.

A ausência de uma cultura de manutenção faz com que os órgãos governamentais responsáveis pelas obras públicas priorizem apenas a execução das obras, deixando de lado as questões relacionadas à conservação.

Dessa forma, este trabalho visa a realização de inspeção visual de ponte em concreto armado localizada na principal avenida do município de Palmas-TO, para

detecção das manifestações patológicas, análise do grau de deterioração da ponte e sugestão de possíveis reparos para o aumento da vida útil da estrutura, abordando critérios para que seja possível o alcance dos objetivos posteriormente apresentados.

Através das inspeções, é possível detectar problemas antes que eles se tornem irreversíveis e gerar planos de manutenção, que podem ser preventivas ou corretivas. As manutenções preventivas colaboram para o prolongamento da vida útil das estruturas, pois a detecção e estudo das manifestações patológicas existentes e suas possíveis causas, podem auxiliar na tomada de decisões quanto à recuperação das estruturas.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Considerando que o concreto não é um material eterno, as pontes necessitam de manutenções. Elas evitam que as patologias surjam, tomem grandes proporções, gerem transtorno ao tráfego e coloque a vida dos usuários em risco.

Sendo assim, esse trabalho visa responder à problemática: onde encontram-se e como se apresentam as patologias mais comuns em ponte de concreto, mais especificamente na ponte localizada na Avenida Joaquim Teotônio Segurado, Quadra 302 Sul, sentido Sul-Norte no município de Palmas-TO?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Identificar as manifestações patológicas existentes em ponte de concreto armado no município de Palmas-TO, localizada na Avenida Joaquim Teotônio Segurado, Quadra 302 Sul, sentido Sul-Norte, indicando onde elas se encontram e qual seu nível de degradação.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Relacionar através de pesquisas bibliográficas os tipos de patologias mais frequentes em pontes de concreto armado no país;
- b) Classificar a estrutura de acordo com a metodologia GDE/UnB;
- c) Apresentar possíveis causas e reparos para as manifestações encontradas;

- d) Mapear locais de maior ocorrência das manifestações patológicas existentes na ponte em questão.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

As Obras de Arte Especiais são obras de alto custo de implantação e também de recuperação. Por isso, este trabalho é socialmente importante para evidenciar a necessidade de manutenção das pontes existentes nas cidades, prolongando sua vida útil, minimizando futuros danos e evitando que haja interdição e caos no trânsito. Além disso, é relevante para a economia, visto que um dos temas tratados por ele são os tipos de manutenções, conscientizando que o custo para manutenções preventivas é inferior ao custo para manutenções corretivas.

A pesquisa é significativa para a sociedade, pois em caso extremo de colapso ou interdição, toda a comunidade é afetada. Uma ponte sem manutenções pode ser abrigo de diversas anomalias que podem interferir na rotina de toda a população e ainda lhes trazer risco de vida.

Pode-se também justificar esse trabalho pela possibilidade de fazer parte de um plano de manutenção para toda a cidade, visto que as pontes existentes possuem praticamente as mesmas características. Assim como evitar transtornos e permitir que haja um planejamento para o tráfego da cidade em caso de interrupção de trânsito e possíveis desvios que podem ser adotados.

Levando em consideração as referências bibliográficas que estão apresentadas e os estudos realizados, este trabalho é importante para todos os Engenheiros Cívicos que buscarem pesquisas sobre o tema em questão, servindo também de parâmetro para outras pontes em outras cidades que utilizem os mesmos materiais e métodos construtivos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Desde o início das civilizações, a humanidade encontrou necessidade de vencer obstáculos para se locomoverem e, conseqüentemente, se desenvolverem. Pinho e Bellei (2007) datam o as pontes mais antigas em Roma, por volta de 62 a.C., sendo essa ainda utilizada pela população.

Segundo Pfeil (1979), pontes são as obras destinadas a transposição de obstáculos dando continuidade ao leito normal de uma vida, como rios e braços de mar. Quando ela visa vencer apenas vales, outras vias ou obstáculos que não são constituídos por água, é denominada viaduto. Elas auxiliam no transporte de cargas em estradas rodoviárias, sendo imprescindível para o escoamento da produção e contribuíram para o aumento significativo da malha rodoviária do país.

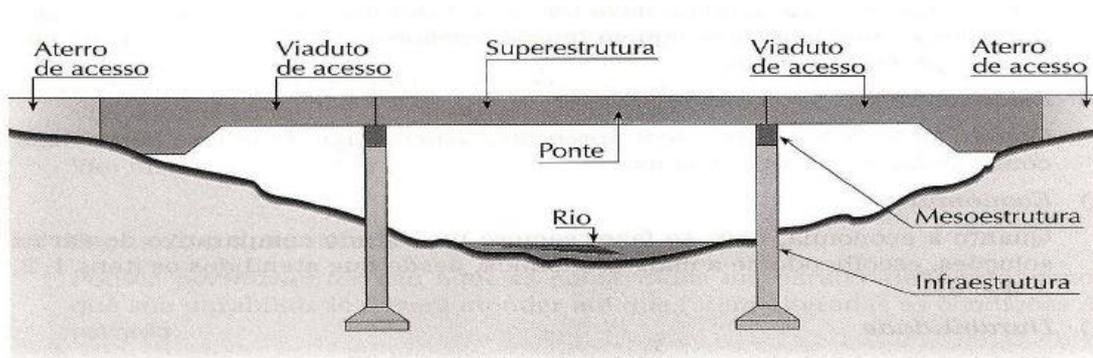
Pode ser realizada uma evolução das pontes a partir dos materiais empregados na sua construção, colocados em ordem cronológica por Leonhardt (1979). Desta forma, tem-se:

- a) pontes de madeira – elas tem sido usadas desde a antiguidade, sendo um dos primeiros materiais, feitas com arranjos estruturais simples;
- b) pontes de pedra – assim como a madeira, sua utilização é datada desde a antiguidade. Os romanos já usavam esse material para construir pontes de até 30 metros de vão. A maioria dessas estruturas desabaram por motivos de fundação ou questões bélicas;
- c) pontes metálicas – as primeiras surgiram no século XVIII, em ferro fundido. Porém, apenas na metade do século XIX é que o aço passou a ser empregado na construção das pontes;
- d) pontes de concreto armado – em sequência, no século XX, surgiram as primeiras pontes em concreto simples. Apesar de já ser empregado o concreto armado no tabuleiro das pontes, foi a partir de 1912 que ele foi empregado nas pontes de vigas e pórticos;
- e) pontes de concreto protendido – apesar de terem sido empregadas inicialmente em 1938, foi apenas após a Segunda Guerra Mundial que o concreto protendido começou a ser usado com frequência, devido a necessidade de reconstruir rapidamente as pontes destruídas pela guerra.

Além das pontes, que também são intituladas Obras de Artes Especiais (OAE), construídas em rodovias ligando cidades, existem pontes localizadas nos centros urbanos. De acordo com Laner (2001), as pontes e viadutos das grandes cidades são verdadeiros equipamentos urbanos, pois são indispensáveis para o cotidiano da população uma vez que definem os escoamentos das vias, articulam cruzamentos, encurtam caminhos, etc.

Como toda estrutura de concreto, a ponte é dividida em infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, conforme mostra a figura 1.

Figura 1 - Elementos constituintes das estruturas das pontes de concreto armado.



Fonte: Marchetti (2008)

A infraestrutura é o que dá sustentação à mesoestrutura, apoiando os pilares ao solo ou rocha. Ela é constituída por elementos de fundação, como estacas, sapatas, tubulões, etc.

A mesoestrutura, por sua vez, recebe os esforços provenientes da superestrutura e os transmite à fundação. Pode ser constituída de pilares, vigas-travessas, aparelho de apoio, entre outros.

Por fim, tem-se a superestrutura, que é composta por lajes e diversos tipos de vigas. Ela é responsável por suportar as solicitações diretas do tráfego e transferi-las à mesoestrutura.

## 2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES

Devido à sua evolução, as pontes foram se distinguindo em diversos pontos uma das outras, criando categorias que hoje são diferenciadas por alguns critérios de classificação. Segundo Marchetti (2008), as pontes podem ser classificadas em onze critérios diferentes, sendo eles:

- a) quanto a extensão do vão total – nesse quesito, elas podem ser diferenciadas em bueiros, que são vãos de até dois metros, pontilhões tendo vãos de dois a dez metros e pontes, que possuem vãos maiores, que ultrapassam dez metros;
- b) quanto a durabilidade – podem ser divididas em permanentes e provisórias. As permanentes, como o nome diz, são construídas definitivamente. Já as provisórias são normalmente feitas para desvio de tráfego, enquanto a obra definitiva está sendo construída. E há também as pontes desmontáveis, que se diferem das provisórias por serem reaproveitáveis;
- c) quanto a natureza do tráfego – depende do tipo de tráfego para o qual a ponte será construída, como veículos, pedestres, trem, etc. Sendo assim, Sartorti (2008) afirma que as pontes são divididas em rodoviárias, ferroviárias, passarelas, aeroviárias, canais e mistas;
- d) quanto o seu desenvolvimento planialtimétrico – ao projetar o eixo da ponte em planta, ela pode ser dividida em pontes retas e curvas. Agostini (apud Sartoti, 2008) diz que o traçado da via depende das condições e interferências no local da obra;
- e) quanto o seu desenvolvimento altimétrico – ao projetar o eixo da ponte em plano vertical, ela pode ser dividida em pontes horizontais ou em nível e pontes em rampa, retilíneas ou curvilíneas;
- f) quanto ao sistema estrutural da superestrutura – Pinho e Bellei (2007) dividem as pontes pelo seu sistema estrutural da superestrutura em ponte em vigas de alma cheia, treliça, vigas em caixão, pórticos, arcos e suspensas por cabos, que se subdividem em pênseis e estaiadas. Esse critério construtivo é definido de acordo com a necessidade de cada ponte, levando em consideração suas solicitações;
- g) quanto ao material da superestrutura: de acordo com o material que a superestrutura é construída, as pontes podem ser divididas em pontes de madeira, de alvenaria, de concreto armado, de concreto protendido e de aço;
- h) quanto a posição do tabuleiro – nesse caso, esse critério só se aplica a pontes em arco devido à posição que o tabuleiro se encontra em

relação ao resto da estrutura, podendo ser encontrados na parte superior, intermediária ou inferior;

- i) quanto a mobilidade dos tramos – as pontes podem ser construídas para se movimentarem de acordo com a necessidade do local, sendo assim podem ser divididas em ponte basculante de pequeno vão, levadiça, corrediça e giratória;
- j) quanto o tipo estático da superestrutura – podem ser isostáticas ou hiperestáticas;
- k) quanto o tipo construtivo da superestrutura – de acordo com o modo que a ponte foi construída, podem ser divididas em *in loco*, pré-moldada, em balanços sucessivos e em aduelas. Cada uma delas possui um método diferente na hora de ser executada, de acordo com a necessidade, disposição da obra, dificuldade de execução, entre outros fatores.

## 2.2 CONCRETO ARMADO

O concreto é uma mistura de cimento Portland, agregados, água. Em alguns casos, podem conter aditivos que melhorem ou modifiquem as propriedades básicas desse material. Entendem-se como agregados as areias e britas, que são materiais indispensáveis no preparo do concreto. Essa mistura deve ser dosada minuciosamente, possuindo diversos traços de acordo com a necessidade de utilização.

Atualmente, o material mais usado em toda construção é o concreto armado. Segundo Mehta e Monteiro (2008), estima-se que o consumo de concreto atualmente seja de onze bilhões de toneladas métricas ao ano. Com o passar dos anos e o surgimento de novas tecnologias, materiais e sistemas construtivos, o concreto armado foi tomando espaço entre as construções que antes eram em sua maioria feitas de pedras e madeira.

As possíveis causas para tamanha utilização se dá a três fatores principais: resistência à água superior à madeira e o aço, facilidade de execução de estruturas de variadas formas, baixo custo e facilidade de disponibilidade do material.

Além dos fatores citados anteriormente, o concreto é um material de alta resistência. Segundo Medeiros, Andrade e Helene (2011), a resistência do concreto

depende principalmente da natureza e tipo dos materiais adotados, assim como a dosagem do concreto e a execução.

Para auxiliar e contribuir com o concreto foi introduzido o aço nas estruturas, criando o concreto armado. O concreto é um bom material para resistir à compressão, porém deixa a desejar quando o assunto é tração. Segundo Mehta e Monteiro (2008), a resistência à tração dele é cerca de 10% da resistência à compressão. Nesse contexto, as barras de aço são inseridas para resistir a esse esforço, deixando a estrutura mais segura.

Freitas (2007 apud Gonçalves, 2015) considera que o aço utilizado para estruturas pode ser classificado em dois grupos principais:

- a) aço de dureza natural laminado a quente – são os tipo CA25 e CA50, esses aços possuem elevações que aumentam a aderência com o concreto. Por serem laminados a quente, não perdem sua resistência quando são aquecidos e resfriados em seguida;
- b) aço encruado a frio – são os tipo CA60 e são obtidos por tratamento a frio dos aços comuns. É encruado a frio por torção combinada com tração. Seu processo de fabricação é praticamente um ensaio de detecção de defeitos, pois caso haja algum no material, ele se rompe por ocasião do encruamento.

### 2.3 PATOLOGIAS EM CONCRETO ARMADO

Devido à baixa resistência mecânica dos materiais nas construções antigas, a estrutura era submetida a baixas tensões de serviço e fatores de segurança mais elevados, o que as tornava mais resistentes à degradação. Com o avanço tecnológico, os materiais chegaram a resistências maiores, as construções passaram a utilizar tensões de serviço mais elevadas e gerarem estruturas mais esbeltas, porém isso tornou as estruturas mais vulneráveis a agentes agressivos (ANDRADE, J., 1997).

Conforme houve um grande crescimento populacional, a construção civil se viu obrigada a apresentar de forma rápida materiais e performances que atendessem esse desenvolvimento. De acordo com Souza e Ripper (1998), apesar do avanço obtido, a tecnologia não foi suficiente para alcançar esse crescimento acelerado da construção civil, aceitando de forma implícita maiores riscos

estruturais, ainda que esses fossem limitados. Somam-se a isso as falhas involuntárias e a falta de fiscalização e temos a chamada deterioração estrutural.

O concreto armado, apesar da sua elevada resistência, está sujeito a alterações nas suas propriedades devido o contato dos seus constituintes com os agentes externos. Essas alterações podem comprometer o desempenho da estrutura, ameaçando sua estabilidade e/ou estética. Nesse contexto que o conceito de patologia é inserido, e pode ser entendido como a área da engenharia que estuda as enfermidades da construção, buscando suas formas de manifestação, causas e consequências.

Com exceção de catástrofes naturais, os problemas patológicos têm suas origens em uma das atividades do processo de construção, que podem ser divididos em três etapas básicas: concepção, execução e utilização.

Dessa forma, podemos dividir as principais falhas em duas nomenclaturas:

- a) falhas congênitas, que são as falhas decorrentes da concepção do projeto, devido ao estudo inadequado das condições do ambiente onde o projeto será inserido ou até mesmo o descumprimento de normas vigentes;
- b) falhas adquiridas durante a construção, que são as falhas caracterizadas pelo uso de materiais de desempenho inferior aos especificados em projeto, a adoção de métodos construtivos inadequados e também a falta de entrosamento entre os responsáveis por qualquer empreendimento que são os projetistas, construtoras, fornecedores, fiscalização e proprietário.

De acordo com Souza e Ripper (1998), também podemos classificar os problemas patológicos em simples e complexos:

- a) problemas patológicos simples, denominados aqueles cujo diagnóstico e prevenção são evidentes, permitem uma padronização e podem ser resolvidos sem que o profissional responsável tenha conhecimentos altamente especializados;
- b) problemas patológicos complexos, que são aqueles que exigem uma análise individualizada e detalhada, não permitem mecanismos de inspeção convencionais nem esquemas rotineiros de manutenção,

sendo necessários conhecimentos elevados de patologia das estruturas.

Dessa forma, ao falarmos de patologias estamos nos referindo às “doenças” das construções. Nesse caso, as manifestações patológicas podem ser entendidas como os sintomas da doença.

### **2.3.1 Causas**

Antes de sugerir reparos para as manifestações patológicas, é necessário entender quais suas causas e origens, para que não sejam tomadas decisões incoerentes. Segundo Souza e Ripper (1998), essas causas podem ser intrínsecas e extrínsecas.

As causas intrínsecas são definidas como as que estão ligadas à própria estrutura, ou seja, nos seus materiais e peças estruturais, podendo ser também decorrentes de falhas humanas e por ações externas e acidentes.

As falhas humanas podem ser cometidas na fase de execução e de utilização. Na fase de construção da estrutura, os defeitos podem ser decorrentes, em sua grande maioria, da falta de qualificação da mão de obra pra execução do serviço. Desse fator surgem deficiências na concretagem, má execução de formas e armaduras e falta de um controle de qualidade. Já as falhas humanas provenientes da utilização estão diretamente ligadas à falta de manutenção da estrutura.

As causas naturais entendem-se como aquelas que dependem do próprio material. Nelas podemos citar a porosidade do concreto e conseqüentemente sua permeabilidade, as reações químicas como reação álcalis-agregado, reação álcalis-dolomita e reações entre rochas caulinizadas, entre diversos outros fatores.

Têm-se ainda as causas físicas e biológicas. A primeira é a resultado dos agentes da natureza atuando durante o período de cura do concreto, como variação de temperatura, vento, chuva, etc. Já a segunda resulta de ataques químicos de ácidos gerados por fatores como o crescimento de raízes nas fissuras da estrutura, ou fungos.

As causas extrínsecas são as que independem da estrutura em si, ou da composição do concreto, sendo então os fatores que atacam a estrutura de fora pra dentro.

As falhas humanas durante a concepção do projeto é um dos fatores que causam anomalias. Na concepção do projeto, apesar de óbvio, ainda é possível encontrar problemas patológicos decorrentes da incorreta observação das condições básicas de equilíbrio e das leis da estática. Também devem ser analisadas corretamente as cargas que a estrutura está imposta, e o correto detalhamento da estrutura.

Já as falhas humanas durante a utilização da estrutura são resultados diretos da atuação do homem. Podem ser realizadas alterações na estrutura, sobrecargas elevadas e alterações das condições do terreno. Nesses casos, trazem muito mais perigo a segurança.

As ações mecânicas são provenientes de choques de veículos, recalque de fundações e ações totalmente imprevisíveis. Os choques de veículos, ou até mesmo embarcações, em pilares de pontes e viadutos podem não só desgastar a superfície, mas também destruir peças estruturais inteiras. Além disso, apesar de toda edificação estar sujeita a deslocamentos verticais até que o equilíbrio entre o carregamento aplicado e o solo seja atingido, alguns cálculos mal concebidos levam a recalques significativos entre os apoios, causando trincas nas estruturas e alvenarias.

Os acidentes vêm de ações imprevisíveis que uma estrutura pode ser submetida, em intensidade ou ocorrência. Podem ser exemplificados como incêndios, sismos, inundações, etc.

As principais ações físicas que podem agredir a estrutura de concreto são as variações de temperatura, os movimentos que ocorrem entre materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, a incidência direta do sol e a ação da água nas suas diversas formas.

As solicitações químicas são normalmente as causas mais comuns de deterioração nas indústrias, pontes e viadutos. As principais ações químicas responsáveis pelas agressões às estruturas já foram citadas nas causas intrínsecas, porém quando são consideradas causas extrínsecas devem ser entendidas como agindo durante a vida útil da peça. Entre esses agentes agressivos estão o ar e gases, águas agressivas, reações com ácidos e sais e sulfatos.

Por fim, têm-se as ações biológicas, que atuam de forma significativa como agente agressivo em pontes. Isso porque elas são caracterizadas como as vegetações que crescem nas pequenas falhas de concretagem e a presença de

organismos e microrganismos em certas partes da estrutura. Podemos citar também os cupins que se alojam em eletrodutos e formigas que afofam a terra sob fundações superficiais.

### **2.3.2 Tipos de manifestações patológicas**

#### **2.3.2.1 Fissuração**

As fissuras são aberturas na superfície do concreto que permitem a entrada de agentes agressivos no interior da estrutura. Ela está entre as manifestações patológicas mais comuns de serem encontradas e também as que mais chamam atenção dos leigos devido ao seu aspecto estético desagradável.

Alves (1979 apud Santos e Silva, 2017) descreve que as principais causas das fissuras podem ser listadas como erro de projeto ou execução, variação de temperatura, retração, expansão e cura deficiente do concreto, recalques diferenciais e ataques químicos.

As fissuras podem se apresentar em diferentes posições na estrutura de acordo com suas causas e possuem diferentes nomenclaturas de acordo com as dimensões que apresentam, de acordo com a Oliveira (2012). São elas:

Figura 2 - Anomalias de acordo com abertura.

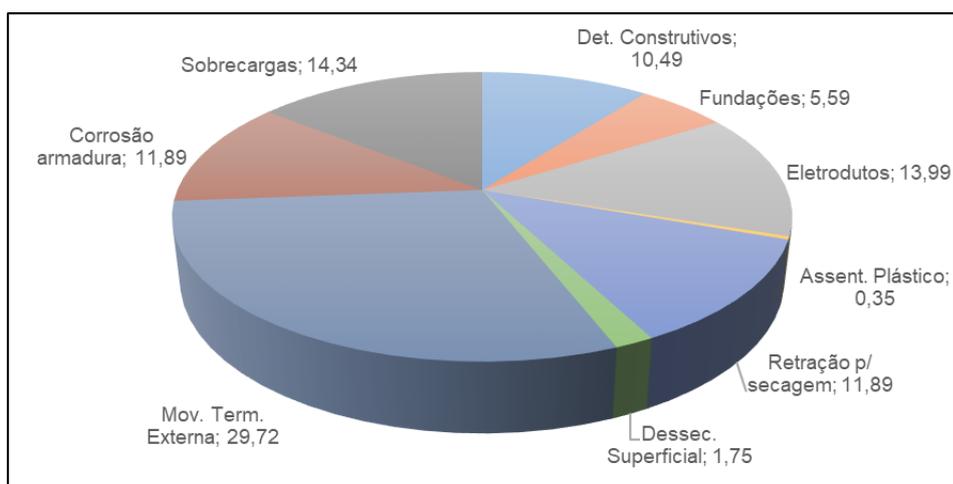
| <b>ANOMALIAS</b> | <b>ABERTURAS (mm)</b> |
|------------------|-----------------------|
| Fissura          | até 0,5               |
| Trinca           | de 0,5 a 1,5          |
| Rachadura        | de 1,5 a 5,0          |
| Fenda            | de 5,0 a 10,0         |
| Brecha           | Acima de 10,0         |

Fonte: adaptado de Oliveira (2012).

Souza e Ripper (1998) admitem que as fissuras também podem ser divididas de acordo com a sua atividade, em ativas ou passivas. As fissuras são ativas quando a causa de seu aparecimento ainda atua sobre a estrutura e elas tendem a aumentar de tamanho. Já as fissuras passivas são as que não apresentam modificações no decorrer do tempo, já que sua causa já não tenha efeito sobre a estrutura.

Em estudo realizado por Molin (1988), foram listadas as principais causas de fissuras e sua ocorrência. A figura 3 mostra o gráfico gerado a partir dessa pesquisa.

Figura 3 - Causas e incidência de fissuras em concreto armado.



Fonte: adaptado de Molin (1988).

Entre as diversas causas do aparecimento de fissuras, é possível listar a deficiências de projeto e execução, contração plástica do concreto, retração do concreto, reação álcalis-agregado, ações aplicadas, entre outros.

Nos projetos, as fissuras são geradas devido a estruturas mal projetadas e que não atendem a todos os esforços da estrutura. Em alguns casos, o mau projeto resulta na má execução, podendo gerar mais solicitações e agravando o caso.

A contração plástica são causadas por movimentação higroscópica e ocorre ainda no processo de pega do concreto, pois o excesso de água colocado na mistura evapora de forma rápida e dessa forma, a massa se contrai irreversivelmente. Segundo Souza e Ripper (1998), esse é um fissuramento de ocorrência mais comum em lajes e paredes, e elas são paralelas entre si, fazendo ângulos de aproximadamente 45° com os cantos.

A retração do concreto é causada por variação de temperaturas. De acordo com Thomaz (1989), os elementos de uma construção estão sujeitos a variações de temperatura sazonais e diárias e isso resulta numa variação dimensional dos materiais, sejam eles movimentos de dilatação ou contração. As fissuras por variação térmica também podem surgir pelos diferentes coeficientes de dilatação térmicos existentes em uma mesma construção.

Ainda analisando o gráfico apresentado por Molin (1988), percebe-se que a sobrecarga é um fator relevante para o surgimento de fissuras. A sobrecarga causa diversos tipos de ações na estrutura, e uma delas é a compressão. Conforme

Evangelho (2013), as fissuras que surgem por efeito da compressão são diagonais à aplicação da força.

Como já mencionado, o concreto é resistente à compressão, porém não à tração, e por isso é utilizado com o aço. Quando há uma taxa muito alta de armadura, fazendo com que a estrutura fique super-armada, o concreto pode simplesmente sofrer esmagamento e romper por compressão (FERNANDES, 2006).

O esmagamento do concreto é iniciado quando a tensão de compressão é superior à resistência, gerando um processo de dano irreversível (EVANGELHO, 2013).

Mehta e Monteiro (2008) também relacionam as fissuras com as reações álcalis-agregados. Essas são reações químicas que envolvem os álcalis e íons hidroxila da pasta de cimento com minerais silicosos reativos presentes nos agregados. Essa causa pode ser mais encontrada em lugares úmidos, como barragens e pilares de pontes.

Segundo Souza e Ripper (1998), a reação álcalis-agregado dá origem à fissura devido à formação de um gel que absorve água e se expande na massa do concreto, gerando tensões de tração.

#### 2.3.2.2 Desagregação e deslocamento do concreto

Para Vitório (2002), desagregação é a separação de partes do concreto, provocada pela expansão ou dilatação das armaduras e também pelo aumento de volume de concreto quando absorve água. O deslocamento se diferencia apenas na forma como o concreto é segregado, pois nesse caso ele se separa em placas inteiras.

Esse fenômeno pode acontecer por diversas causas, como: fissuração, movimentação de formas, corrosão do concreto, calcinação do concreto e ataques biológicos. E o seu processo faz com que a estrutura perca sua capacidade de absorver cargas, visto que o concreto perdeu sua capacidade de permanecer homogêneo.

#### 2.3.2.3 Carbonatação do concreto

Esse tipo de patologia é resultado da ação dissolvente do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), presente no ar atmosférico, com o cimento hidratado presente nas estruturas, formando o carbonato de cálcio e reduzindo o pH do concreto a valores inferiores a 9, segundo Santos (2014).

O dióxido de carbono penetra nas estruturas de concreto, gerando reações químicas que diminuem a alcalinidade do concreto, diminuindo também o pH do material a valores próximos de 8. Esse processo reduz a estabilidade da proteção do concreto para as armaduras, levando elas ao estado de corrosão (MEIRA, 2017).

#### 2.3.2.4 Perda de aderência

A perda de aderência pode ocorrer entre concretos de idades diferentes, resultado de duas concretagens. Isso ocorre quando a superfície do concreto mais velho não está devidamente preparada para receber o novo, estando suja ou com uma grande diferença de tempo.

Também pode acontecer entre as barras de aço da estrutura e o concreto. Esse efeito acontece devido a corrosão do aço que gera expansão, corrosão do concreto, assentamento plástico do concreto e até mesmo devido a aplicação de inibidores de corrosão nas armaduras, que gera perda parcial de aderência.

#### 2.3.2.5 Desgaste do concreto

Essa manifestação patológica pode ocorrer por abrasão, erosão e cavitação (TRINDADE, 2015).

A abrasão ocorre devido ao arraste, fricção ou atrito causado por diversos fatores como água, passagem de pessoas, e até mesmo pelo ar. A erosão se dá pela movimentação do ar ou da água, que desgastam a superfície do concreto devido às partículas que carregam. E a cavitação é o processo do impacto de bolhas de vapor geradas devido à alta velocidade da água, que implodem devido às regiões de maior pressão.

#### 2.3.2.6 Corrosão das armaduras

O concreto armado exerce duas importantes funções sobre o aço, que são o cobrimento que age como barreira física e o ambiente alcalino ideal para proteção do aço (ANDRADE, C., 1992).

Helene (1986) define a corrosão como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente. Neste caso, do aço da peça com o ambiente externo que a estrutura está localizada. Por isso é necessária a avaliação da agressividade do ambiente de acordo com a NBR 6118, para adoção de um cobrimento suficiente para proteção física e química da armadura.

A corrosão pode ser dividida em química e eletroquímica. A eletroquímica é a que ocorre no concreto armado, e entende-se como o ataque de natureza eletroquímica, que ocorre em meio aquoso. Helene (1986) afirma também que é

necessário que existam agentes agressivos que acelerem o processo de corrosão, como os íons sulfetos, íons cloretos, dióxido de carbono, nitritos, etc.

Apesar disso, o concreto é um material poroso e permite a penetração de agentes agressivos para o interior da estrutura. Esses agentes agem sobre o aço que acarretam na sua oxidação e, conseqüentemente, geram a corrosão da armadura. Esse processo faz com que a armadura aumente cerca de oito vezes o seu tamanho.

A corrosão das armaduras acontece após a sua despassivação. Tuutti (apud Cascudo, 1997) explica esse processo como sendo o “período de iniciação”, que corresponde ao período em que a estrutura foi construída, até os agentes agressivos vencerem o cobrimento do concreto e retirar a sua proteção química, composta por óxido de ferro.

A passivação da armadura é compreendida como a proteção química do aço, e se origina em função do pH alto do concreto. Segundo Meira (2017), esse filme passivo é formado a partir de uma rápida reação eletroquímica, que gera produtos de corrosão em uma camada submicroscópica aderida ao aço.

#### 2.3.2.7 Corrosão do concreto

Esse tipo de fenômeno também ocorre no concreto, apesar de ser um material resistente. Assim como na corrosão das armaduras, o concreto também está sujeito a agentes agressivos como ácidos, sulfatos, cloros, nitratos, nitritos e algumas vezes até mesmo a água da chuva que se acumula na sua estrutura. Em conformidade com Souza e Ripper (1998), a corrosão do concreto pode se apresentar em forma de lixiviação, corrosão química por reação iônica e corrosão por expansão.

#### 2.3.2.8 Lixiviação e eflorescência

A lixiviação é uma manifestação patológica de origem química que consiste na presença de água sob gravidade no elemento estrutural. Mehta e Monteiro (2008) relatam que a água corrente ou de infiltração sob pressão promove o arraste do hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) presente na pasta de cimento para a sua superfície. Isso reduz o pH do concreto e, quando entram em contato com o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), surgem as manchas esbranquiçadas denominadas eflorescência.

No entanto, os autores afirmam que a água de amassamento também pode ser responsável pelo surgimento das eflorescências.

De acordo com Vasconcelos (2018), esse fenômeno, além de reduzir o pH do concreto, torna-o mais poroso devido ao arraste de material, e deixa a armadura mais vulnerável à corrosão devido a facilidade de entrada dos agentes agressivos.

#### 2.3.2.9 Bolor

Essa manifestação possui origem biológica e advém do desenvolvimento de microrganismos do grupo de fungos, que necessitam de umidade elevada para se desenvolverem, de acordo com Molin (1988). O processo de proliferação é acelerado caso haja ausência de iluminação e ventilação natural, além da presença de um agente causador da umidade.

Verly (2015) relata que esse processo gera um biofilme que se manifesta através das manchas esverdeadas que impactam diretamente na estética. Além disso, pode promover a desagregação do concreto.

## 2.4 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL

A associação dos termos durabilidade e vida útil é inevitável quando se trata de edificações. Segundo Helene (2011 apud Gonçalves, 2015), durabilidade é “o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção.” Também define vida útil como o tempo que a estrutura conserva seus índices mínimos de resistência e funcionalidade, sendo o prolongamento desse tempo um dos desejos de quem trabalha nesse ramo.

Atualmente temos no Brasil em vigência a norma de desempenho, criada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 15575. Essa norma é dividida em seis partes, trazendo diferentes requisitos para cada sistema da edificação, inclusive o estrutural. Apesar de se tratar de uma norma voltada para edificações habitacionais, ela traz conceitos importantes sobre durabilidade, vida útil e desempenho:

- a) desempenho – comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas;
- b) durabilidade – capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas;
- c) vida útil – período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos,

considerando a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados.

A ABNT NBR 6118 também conceitua o termo durabilidade como “a capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”.

“O ponto em que cada estrutura, em função da deterioração, atinge níveis de desempenho insatisfatórios varia de acordo com o tipo de estrutura.” (SOUZA; RIPPER, 1998). Segundo os autores, algumas estruturas se deterioram mesmo realizando o programa de manutenção sugerido.

Dessa forma, fica claro que a durabilidade está ligada não apenas a resistência mecânica das estruturas, mas sim a uma série de decisões, materiais aplicados e medidas adotadas durante e após a construção, que podem aumentar ou diminuir sua vida útil.

Então, considera-se que um material chegou ao fim da sua vida útil quando suas propriedades se deterioram a tal ponto que é inseguro ou antieconômica a sua utilização, afirma Andrade, J. (1997).

O concreto sempre foi considerado um material extremamente durável, e por isso, pouca atenção era dada às estruturas feitas desses materiais. Portanto, pode-se observar as consequências desse descaso com as inúmeras manifestações patológicas que são encontradas nas estruturas.

A ação preventiva tem uma grande importância para que se possa monitorar as condições da obra e evitar, através da manutenção, que os problemas existentes evoluam e a vida útil das estruturas sejam reduzidas.

## 2.5 MANUTENÇÃO

Manutenção é o termo usado para o conjunto de ações que irão manter a estrutura em condições de operação satisfatória de maneira prevista e com orçamentos definidos. Essas ações visam trazer melhores condições e maior segurança às obras, sendo indicada a realização de um plano de manutenção para qualquer obra.

Segundo Müller (2004), são definidos dois grupos de estratégias de manutenção:

- a) casos em que a estrutura terá um só responsável durante toda a sua vida, o que geralmente acontece em grandes estruturas;
- b) casos em que os responsáveis serão vários, situação mais comum, como em edificações residenciais.

É evidente que na recuperação das manifestações patológicas, quanto mais tarde forem executadas, maior será o custo e a dificuldade. Essa afirmação pode ser demonstrada pela “lei de Sitter” ou “lei dos cinco”, que mostra que esses custos de intervenção crescem em progressão geométrica e dividem as etapas em projeto, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva.

De acordo com Sitter (apud Souza e Ripper, 1998), uma medida tomada para o aumento da durabilidade da estrutura na fase de projeto teria o custo de número 1. Se uma medida fosse tomada já na fase de execução, teria o custo de número 5 em relação à fase de projeto. Da mesma forma na fase de manutenção preventiva, que teria custo de 25. E na fase de manutenção corretiva, que teria custo de 125 em relação ao projeto.

Souza e Ripper (1998) dividem os tipos de manutenção em:

- a) manutenção estratégica, que é toda manutenção planejada, que tem características preventivas e que visa ser acompanhada por inspeções periódicas, em espaços regulares de tempo. Inclui também programação de eventuais intervenções corretivas, desde que sejam definidos ritmos e formas de procedimento;
- b) manutenção esporádica, que acontece de acordo com a necessidade de determinada atividade corretiva ou de reforço, não estando em nenhum plano de ação predeterminado.

Há uma falta de cultura de manutenção no Brasil, cita Vitorio (2002), principalmente da preventiva, e isso fez com que o setor responsável pelas obras viárias do país se preocupasse apenas com a construção de obras, sem definir políticas e estratégias para conservação das mesmas. Esse descuido trouxe riscos de segurança e funcionalidade às pontes do país, que apresentam cada vez mais manifestações patológicas em sua estrutura.

## 2.6 METODOLOGIA GDE/UNB

### 2.6.1 Origem

A metodologia GDE/UnB é uma forma de inspecionar estruturas de concreto armado proposto no Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC/UnB, atribuindo valores às anomalias encontradas para avaliação do estado de conservação das estruturas. Essa metodologia fornece, como resultado de uma análise de dados coletadas das inspeções visuais realizadas em campo um, número que pode variar de 1 a 282,8.

Ela foi desenvolvida por Castro em 1994 e aperfeiçoada por diversos autores dentro do programa proposto pela universidade, a partir de aplicação da pesquisa realizada inicialmente. Lopes (1998), Boldo (2002), Fonseca (2007) e Euqueres (2011) foram alguns deles.

Segundo Verly (2015), o estudo se iniciou com Klein et. al em 1991, onde foram inspecionadas onze Obras de Arte Especiais na região de Porto Alegre-RS, com o intuito de evidenciar os problemas das estruturas, sistematizar o processo de inspeção e classificar as estruturas de acordo com o grau de risco dos problemas encontrados.

A partir disso, Castro (1994) adaptou a metodologia para estruturas diversas transformando-a na metodologia GDE/UnB aplicando-a a duas edificações de ocupações diferentes. Ele utilizou um documento denominado Caderno de Inspeção, que servia como auxílio para a inspeção, mais tarde ele foi atualizado por Boldo (2002) e denominado de Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto.

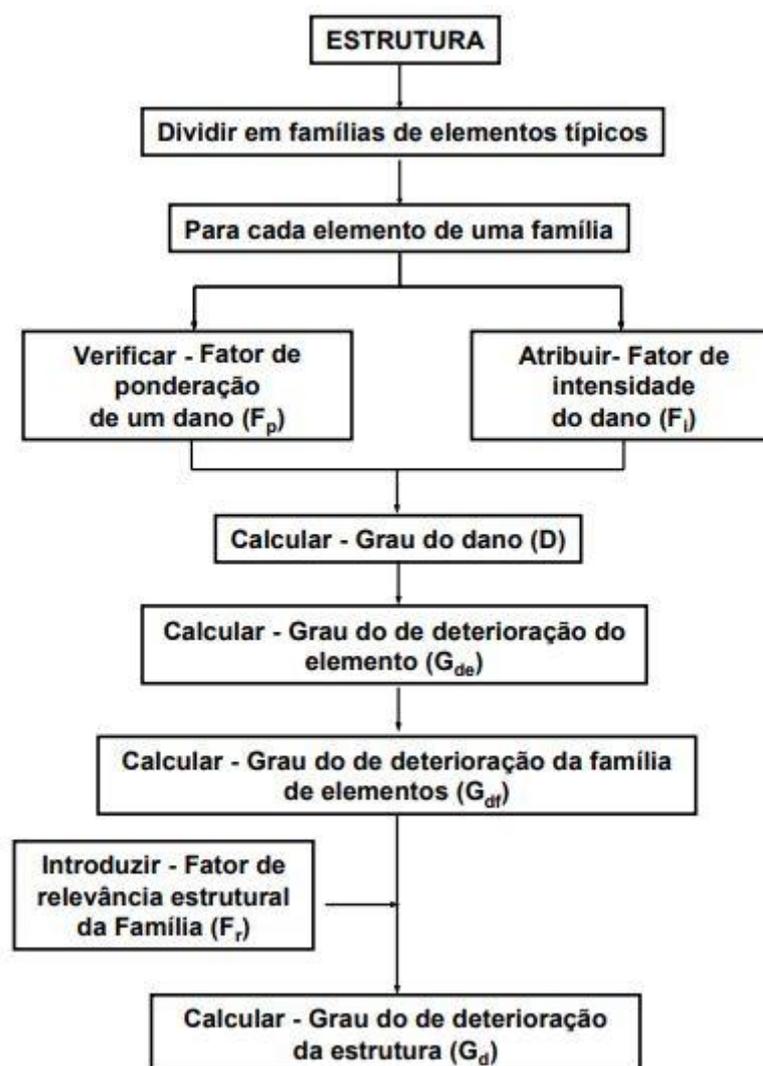
Posteriormente Lopes (1998) aplicou a metodologia a seis edificações comerciais do Banco do Brasil, Boldo (2002) em quarenta edificações do Exército Brasileiro, atualizando também o documento para auxílio e denominando-o de Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto, e Fonseca (2007) no Instituto Central de Ciências da UnB.

Foi em 2011 que a metodologia teve sua primeira aplicação em Obras de Arte Especiais por Euqueres. Foram analisadas um número de onze pontes escolhidas de forma aleatória no estado de Goiás. Ela também modificou o documento de referência e o nomeou Roteiro de Inspeção para Estruturas e Pontes de Concreto Armado.

## 2.6.2 Formulação

A metodologia GDE/UnB é um conjunto de ações realizadas em campo e em escritório, que levam a um valor final que determina o grau de deterioração da estrutura e lhe atribui um tempo necessário para intervenção. As etapas de campo são limitadas à atribuição dos valores para os Fatores de intensidade do dano ( $F_i$ ) e para os Fatores de ponderação de um dano ( $F_p$ ). O fluxograma a seguir mostra como são divididas as etapas da metodologia (figura 4).

Figura 4 - Fluxograma para avaliação quantitativa.



Fonte: Castro (1994).

Como mostra a figura, inicialmente é feita a divisão da estrutura em famílias de elementos típicos. Nessa etapa, os elementos são agrupados de acordo com suas características peculiares e com sua função estrutural no conjunto (VERLY,

2015). O fato de estarem em uma mesma família faz com que os elementos sejam tratados de forma igualitária.

A esses elementos são atribuídos Fatores de relevância estrutural ( $F_r$ ), que tem como objetivo considerar a importância de uma família no comportamento e no desempenho da estrutura estudada. Euqeres (2011) adaptou a planilha para ser utilizada em pontes e dividiu as famílias de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 - Fatores de relevância estrutural.

| Família   | $F_r$ |
|---|-------|
| Barreiras, guarda-corpo, guarda rodas, pista de rolamento | 1     |
| Juntas de dilatação                                       | 2     |
| Transversinas, cortinas, alas                             | 3     |
| Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio   | 4     |
| Vigas e pilares principais                                | 5     |

Fonte: Euqeres (2011)

Em seguida é definido o Fator de ponderação do dano ( $F_p$ ) para cada família adotada. De acordo com Castro (1994), o  $F_p$  quantifica a importância de um determinado dano em relação às condições gerais de segurança, funcionalidade e estética dos elementos de uma determinada família. Por isso, é possível que uma mesma manifestação tenha valores de  $F_p$  diferentes por estarem em famílias de elementos distintas. A figura 5 exemplifica o sistema adotado para indicar os Fatores de ponderação do dano para a família dos pilares de acordo com Euqeres.

Figura 5 - Modelo de ficha de inspeção para pilares.

| Nome do elemento →        |         |       |     |                     |
|---------------------------|---------|-------|-----|---------------------|
| Tipo de elemento →        | Pilares |       |     |                     |
| Local →                   | -       |       |     |                     |
| Danos                     | $F_p$   | $F_I$ | $D$ | Croquis/Observações |
| Carbonatação              | 3       |       |     |                     |
| Cobrimento deficiente     | 3       |       |     |                     |
| Contaminação por cloretos | 4       |       |     |                     |
| Corrosão de armaduras     | 5       |       |     |                     |
| Danos por impacto         | 5       |       |     |                     |
| Desagregação              | 3       |       |     |                     |
| Desplacamento             | 3       |       |     |                     |
| Desvio de geometria       | 4       |       |     |                     |
| Eflorescência             | 2       |       |     |                     |
| Falha de concretagem      | 3       |       |     |                     |
| Fissuras                  | 2 a 5*  |       |     |                     |
| Manchas                   | 3       |       |     |                     |
| Recalque                  | 5       |       |     |                     |
| Sinais de esmagamento     | 5       |       |     |                     |
| Umidade na base           | 3       |       |     |                     |

Fonte: Euqeres (2011).

Como pode ser observado, apenas as fissuras só podem ser preenchidas no ato da inspeção de acordo com a figura 6. Isso se dá devido às fissuras poderem se encontrar no estado plástico ou endurecido.

Figura 6 - Fator de ponderação de fissuras ( $F_p$ ).

|                   | Fissuras*                           | Descrição   | Croquis | $F_p$ |
|-------------------|-------------------------------------|---|---------|-------|
| ESTADO PLÁSTICO   | De retração plástica do concreto    | - comuns em lajes e paredes.<br>- aproximadamente paralelas, superficiais e afastadas entre si de 0,3 a 1 m.  |         | 2     |
|                   | De assentamento do concreto         | - sobre as armaduras.<br>- em pilares, ficam abaixo dos estribos.<br>- interação com armaduras vizinhas.  |         | 3     |
|                   | De movimentação de fôrmas           | - indicam posicionamento e/ou fixação incorretos ou resistência insuficiente de fôrmas/escoramentos   |         | 3     |
| ESTADO ENDURECIDO | De retração do concreto por secagem | - fissuras em pilares e/ou vigas, por diferença grande de rigidezes (a).<br>- aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces (b).<br>- indicam restrição de movimentos.<br>- profundidade reduzida.<br>- aberturas < 0,1 a 0,2 mm. |         | 3     |
|                   | Mapeadas                            | - mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes.<br>- abertura e extensão reduzidas.<br>- superfícies de concreto com desempenho excessivo.<br>- danos só estéticos, em geral   |         | 2     |
|                   | De variações de temperatura         | - em geral, normais ao eixo de elementos lineares,<br>- indicam restrição de movimento por mau funcionamento de juntas de dilatação ou sua ausência.  |         | 3     |

Fonte: Euqueres (2011).

O Fator de intensidade do dano ( $F_i$ ) classifica o nível de gravidade e a evolução de uma manifestação patológica em cada elemento, conforme exemplo da tabela 2.

Tabela 2 - Exemplo de fator de intensidade ( $F_i$ ).

| Tipos de danos        | $F_i$ recomendado   |
|-----------------------|---|
| Corrosão de armaduras | 2 – manifestações leves, pequenas manchas;  |
|                       | 3 – grandes manchas e/ou fissuras de corrosão;  |
|                       | 4 – corrosão acentuada da armadura principal, com perda relevante de seção (> 20% do diâmetro). |
| Eflorescência         | 1 – início de manifestações;  |
|                       | 2 – manchas de pequenas dimensões;  |
|                       | 3 – manchas acentuadas, em grandes extensões;   |
|                       | 4 – grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).                         |

Fonte: Fonseca (2007 apud Verly, 2015).

Seguindo o fluxograma, deve ser calculado o Grau de dano ( $D$ ) para cada anomalia encontrada no elemento estrutural. Castro (1994) formulou o cálculo baseado em estudos realizados por Tuutti (1982), onde o autor considerou que a deterioração ocorreria através do tempo. Ao invés disso, Castro (1994) calculou o grau de dano em função do fator de intensidade do dano e do fator de ponderação do dano.

A partir disso, foram geradas duas equações para encontrar o valor de  $D$ , indicadas nas equações 1 e 2. A primeira obtém o grau de dano para fatores de intensidade com valores de até 2,0 e a segunda para valores acima de 3,0.

$$D = 0,8 \times F_i \times F_p \quad (1)$$

$$D = (12 \times F_i - 28) \times F_p \quad (2)$$

Em seguida, é calculado o Grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ) do grau de dano encontrado no elemento, como mostra a equação 3. O  $G_{de}$  é uma análise dos efeitos de todas as anomalias encontradas no elemento, onde  $D_i$  é o grau de dano de índice “i”,  $D_{máx}$  é o maior grau de dano encontrado no elemento e  $n$  é o número de danos encontrados no elemento.

$$G_{de} = D_{máx} \left[ 1 + \frac{(\sum_{i=1}^n D_i) - D_{máx}}{\sum_{i=1}^n D_i} \right] \quad (3)$$

De acordo com o  $G_{de}$  calculado, são propostas as ações a serem adotadas em cada elemento conforme a tabela 3 (FONSECA, 2007).

Tabela 3 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento.

| Nível de deterioração | G <sub>de</sub> | Ações a serem adotadas   |
|-----------------------|-----------------|--|
| Baixo                 | 0 - 15          | Estado aceitável. Manutenção preventiva.   |
| Médio                 | 16 - 50         | Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).                      |
| Alto                  | 51 - 80         | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 18 meses). |
| Sofrível              | 81 - 100        | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 1 ano).    |
| Crítico               | > 101           | Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.  |

Fonte: Euqueres (2011).

Posteriormente, é calculado o Grau de deterioração de uma família de elementos (G<sub>df</sub>) de acordo com a equação 4. Esse parâmetro é obtido através dos graus de deterioração do elemento maiores que zero, e tem por objetivo avaliar os danos por famílias.

$$G_{df} = G_{de,máx} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{de,i}) - G_{de,máx}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}}} \quad (4)$$

Por fim, é obtido o Grau de deterioração da estrutura (G<sub>d</sub>) de acordo com a equação 5. Ele é calculado através dos valores de G<sub>df</sub> e do fator de relevância estrutural da família.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k (F_{r,i} \times G_{df,i})}{\sum_{i=1}^k F_{r,i}} \quad (5)$$

Assim como no G<sub>de</sub>, são propostas classificações em uma escala de deterioração para a estrutura de acordo com a valor encontrado em G<sub>d</sub> e medidas a serem tomadas, conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura.

| Nível de deterioração | $G_d$    | Ações a serem adotadas   |
|-----------------------|----------|--|
| Baixo                 | 0 - 15   | Estado aceitável. Manutenção preventiva.   |
| Médio                 | 16 - 50  | Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).                      |
| Alto                  | 51 - 80  | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 18 meses). |
| Sofrível              | 81 - 100 | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 1 ano).    |
| Crítico               | > 101    | Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.  |

Fonte: Euqueres (2011).

### 3 METODOLOGIA

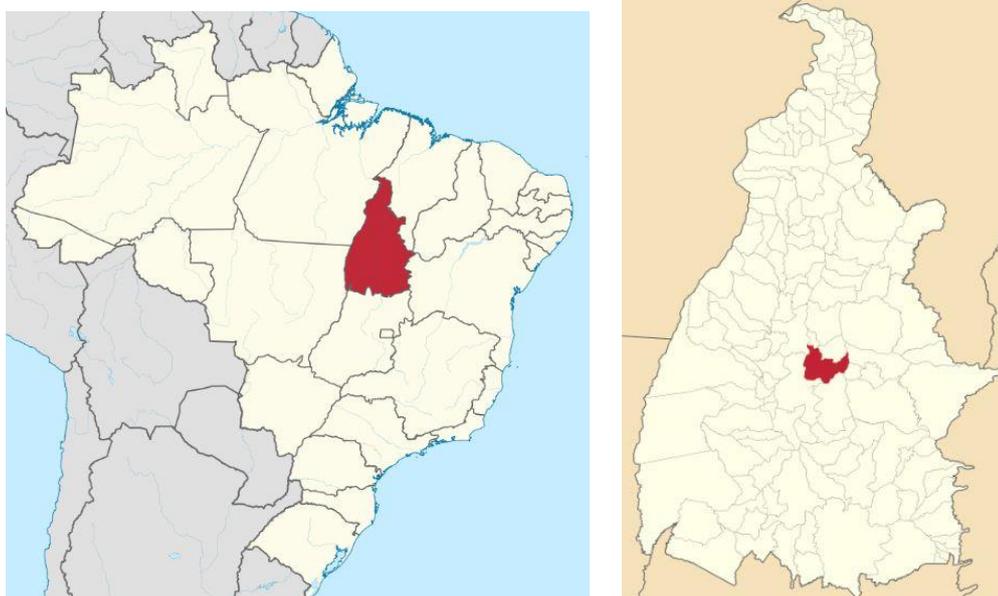
A pesquisa a seguir foi classificada como pesquisa aplicada, devido à utilização de pesquisas já realizadas a respeito da metodologia GDE/UnB, para alcançar os objetivos definidos inicialmente. Foi de natureza quali-quantitativa, pois unirá a descrição qualitativa do fenômeno, buscando explicar suas origens e consequências, com a análise quantitativa dos dados coletados, gerando estatísticas a respeito das manifestações patológicas encontradas.

Seu objetivo metodológico foi explicativo, que segundo Gil (2008), tem como objetivo a identificação dos fatores que contribuem para o surgimento de um fenômeno, neste caso as anomalias na estrutura. E o procedimento metodológico adotado foi o estudo de caso, visto que o fenômeno observado na realidade será analisado profundamente, permitindo um amplo conhecimento a respeito do assunto, tentando explicar como e por que ele ocorre.

#### 3.1 OBJETO DE ESTUDO

A cidade de Palmas é a capital do Tocantins, estado mais novo do Brasil, fundado após separação do estado de Goiás que antes abrangia toda a área que hoje é o Tocantins. A capital é uma das cidades planejadas do Brasil, projetada pelos arquitetos Luis Fernando Cruvinel Teixeira e Walfredo Antunes de Oliveira Filho.

Figura 7 - Localização do Tocantins e Palmas.



O objeto de estudo deste trabalho é uma ponte de concreto armado, localizada na Avenida Joaquim Teotônio Segurado, Quadra 302 Sul, sentido Sul-Norte, que sobrepõe o Córrego Brejo Comprido, em Palmas – TO. Na figura 8 é possível ver o local da ponte circulado em vermelho, e alguns pontos de referência para melhor localização.

Figura 8 - Localização da ponte em Palmas-TO.



Fonte: Google Earth (2019).

Em históricos sobre a cidade, estudos apontam que a ponte foi construída por volta de 1993. Em artigo, Araújo et al. (2013) afirma que o córrego Brejo Comprido é interceptado por quatro avenidas, entre elas a Avenida Joaquim Teotônio Segurado, que foi construída em 1993.

Ela é composta de nove pilares de seção circular de aproximadamente 1,25 metros de diâmetro e 2,20 metros de altura, nove vigas transversinas de dimensões 15,70x0,40x1,70 metros, sendo respectivamente comprimento, largura e altura, e quatro vigas longarinas de 60x0,40x1,70 metros, seguindo a mesma sequência. A estrutura provavelmente é armada ou protendida, não sendo possível a observação da fundação, pois este elemento está aterrado.

A ponte estudada é asfaltada e possui aproximadamente sessenta metros de comprimento e quatorze metros de largura, sendo divididas em quatro faixas de três metros e meio, guarda-rodas de concreto em ambos os lados, passarela e guarda-corpo na lateral direita para pedestres, como mostra a figura 9. Sua faixa localizada mais à esquerda é destinada para ciclistas aos finais de semanas e feriados, seguindo o padrão em toda a avenida.

Figura 9 - Ponte em estudo.



Fonte: Google Earth (2019).

Está localizada na principal avenida da cidade, na região central, próxima a comércios, residências e pontos de cultura. Por isso, a avenida tem alto tráfego de veículos leves durante o dia, principalmente em horários de pico, que são entre sete e nove horas da manhã, onze e meia a duas e meia da tarde e de cinco a sete horas da noite.

### 3.2 PESQUISAS

O trabalho foi iniciado com pesquisas em bibliografias existentes e confiáveis como livros, artigos, teses de mestrado e revistas sobre as patologias que podem surgir em estruturas de concreto armado, suas causas e métodos de reparo. Nessa

etapa, o livro Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado, escrito em 1998 pelos engenheiros civis Vicente Custódio Moreira de Souza e Thomas Ripper, foi muito utilizado como referência de pesquisa devido a sua abrangência sobre o assunto.

Também foram realizados estudos bibliográficos sobre as pontes do Brasil, investigando se há um padrão para o aparecimento de manifestações patológicas e qual delas possuem maior ocorrência em todo o país. Foi definido um número de dez pontes, escolhendo duas pontes para cada região do Brasil, que sejam de concreto armado, possuam características construtivas semelhantes e possam ser comparadas entre si.

Com essas pesquisas realizadas, foi criado um gráfico indicando quais as patologias mais foram encontradas nas pontes de concreto armado nas diferentes cidades e também qual das pontes pesquisadas encontrava-se em pior estado. Dessa forma foi possível buscar possíveis causas para que essas anomalias fossem geradas.

Após realização das pesquisas, a Secretaria de Infraestrutura da cidade de Palmas-TO foi contatada a fim de buscar acesso aos dados da ponte em estudo, assim como seus projetos e memoriais. Porém, nenhum desses documentos foram cedidos para realização do trabalho.

### 3.3 INSPEÇÃO

Todo o estudo realizado foi aplicado na ponte citada anteriormente, sendo inspecionada em busca de anomalias que possam ou não comprometer todo seu funcionamento e segurança.

No ato da inspeção foram necessários equipamentos como trena, paquímetro para medição da espessura das fissuras e cobrimentos, câmera fotográfica, prancheta, papel e caneta para anotações e o manual de aplicação da metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais.

Como o projeto original não foi adquirido, foi realizada uma primeira visita à ponte, onde foram tiradas as medidas necessárias para a elaboração do croqui. Levando em consideração seus elementos visíveis, dimensões e formas. A planta baixa da ponte foi realizada no software AutoCAD e em seguida seu 3D no software SketchUP.

A inspeção à ponte foi realizada depois de realizadas as pesquisas sobre as formas de manifestações e também a elaboração do projeto. Essa inspeção foi dividida em duas visitas, para que houvesse tempo de ser realizada uma análise de forma mais detalhada da estrutura.

O manual de aplicação da metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais já traz as manifestações patológicas mais frequentes em pontes de concreto, conceituando-as de forma precisa. Isso é feito em busca da padronização das inspeções e também dos termos utilizados, pois assim há resultados mais consistentes e menor subjetividade na quantificação dos danos.

No ato da inspeção, foram preenchidas as fichas presentes no manual para atribuição dos fatores de ponderação e intensidade e realizados registros fotográficos para inserção no trabalho.

Após a realização da inspeção, os dados coletados de Fator de ponderação do dano e Fator de intensidade do dano foram transferidos para planilhas no software Excel para auxiliar na realização dos cálculos necessários. Nessas planilhas foram inseridas as famílias, os elementos em análise, o dano encontrado, os valores de  $F_p$ ,  $F_i$  e os cálculos para obtenção dos valores do grau de dano (equação 1 e 2).

A partir disso, foi possível calcular os valores do grau de deterioração do elemento (equação 3) para todos os elementos em outra planilha, indicar o nível de deterioração e as ações propostas pela metodologia GDE/UnB.

Após realizados os cálculos para obter valores de  $G_{de}$ , são calculados os valores do grau de deterioração de uma família de elementos através da equação 4. Calculados todos os valores para  $G_{df}$ , foi possível comparar todas as famílias e identificar qual delas está mais deteriorada e buscar possíveis causas.

Para finalizar, foi realizada a avaliação da estrutura como um todo através do cálculo do grau de deterioração da estrutura de acordo com a equação 5, que é uma média ponderada dos valores de  $G_{df}$  em função dos valores do fator de relevância estrutural da família.

A partir disso, foi classificado o nível de deterioração da estrutura de acordo com a tabela indicada na tabela 4 e as ações a serem tomadas em função disso.

### 3.4 MAPEAMENTO DAS ANOMALIAS

Para melhor visualização do objeto de estudo foi realizado um croqui após a primeira visita. Ele serviu de auxílio para a inspeção, visto que foram nomeados os elementos estruturais, dividindo-os em pilares, vigas transversinas, vigas longarinas e lajes. A nomenclatura adotada nesse croqui foi utilizada durante todo o trabalho.

A partir do croqui foi feito um projeto em 3D da ponte no qual foram localizadas as manifestações patológicas através de desenhos de diferentes cores. Todos os projetos serão acompanhados de legenda para compreensão dos símbolos e cores utilizados.

### 3.5 TRATAMENTO DE DADOS

Nessa etapa, todos os dados coletados foram analisados detalhadamente com o auxílio das pesquisas já realizadas anteriormente. As manifestações patológicas encontradas na estrutura foram transferidas para o desenho em 3D realizado no software ScketchUP da ponte para melhor visualização, sendo elas separadas por cor de acordo com o tipo.

Com as informações encontradas com a metodologia GDE/UnB, foi possível analisar através de gráficos qual manifestação patológica foi mais encontrada na ponte.

A busca pelas causas se iniciou nessa etapa e foi realizada a partir de bibliografias publicadas sobre o assunto, comparando através dos dados já coletados e das informações obtidas da Obra de Arte Especial. Da mesma forma aconteceu com os métodos de reparo que podem ser adotadas de acordo com as causas encontradas. Nenhuma dessas informações poderá ser afirmada com certeza, devido à falta de informação e de ensaios mais complexos, sendo indicadas apenas possibilidades.

Ao final, haverá sido criada uma lista com todas as manifestações patológicas que foram encontradas, suas possíveis causas e, caso haja, possíveis reparos estruturais.

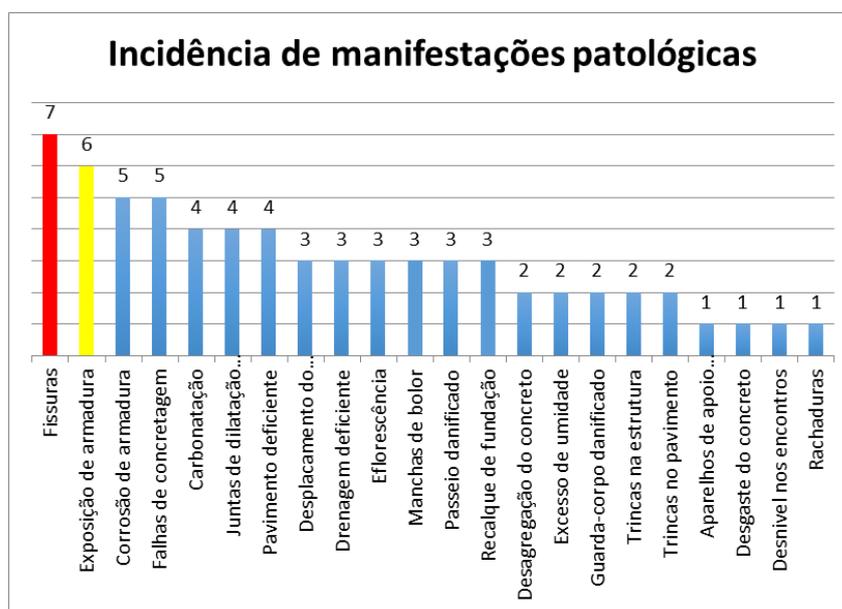
## 4. RESULTADOS

### 4.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES NO BRASIL

As manifestações patológicas podem ter origem em diferentes fases de uma obra, sendo elas: projeto, execução e uso. Thomaz (1989) cita uma pesquisa realizada na Bélgica baseada em 1800 casos de manifestações patológicas, a qual chegou à conclusão de que 46% (quarenta e seis por cento) delas originavam-se de falhas de projeto. Segundo Souza e Ripper (1998) isso se dá devido aos erros de lançamento da estrutura, e isso pode elevar os custos de execução, além de inviabilizar algumas especificações.

No estudo realizado em dez pontes em diferentes cidades através de artigos publicados ou dissertações, ficou evidenciado que a manifestação patológica mais encontrada é a fissura, seguida pela exposição das armaduras, como é evidenciado no gráfico da figura 10.

Figura 10 – Manifestações patológicas incidentes em pontes no Brasil.



Fonte: Autor (2019).

As fissuras podem ocorrer por diversas causas distintas e por isso seu diagnóstico exige mais atenção. Thomaz (1989) afirma que podem surgir devido as tensões provenientes de sobrecargas, movimentação de materiais, componentes ou da obra como um todo. Para que fosse possível identificar qual a real causa das fissuras encontradas nessas pontes, seriam necessárias visitas *in loco* e ensaios específicos.

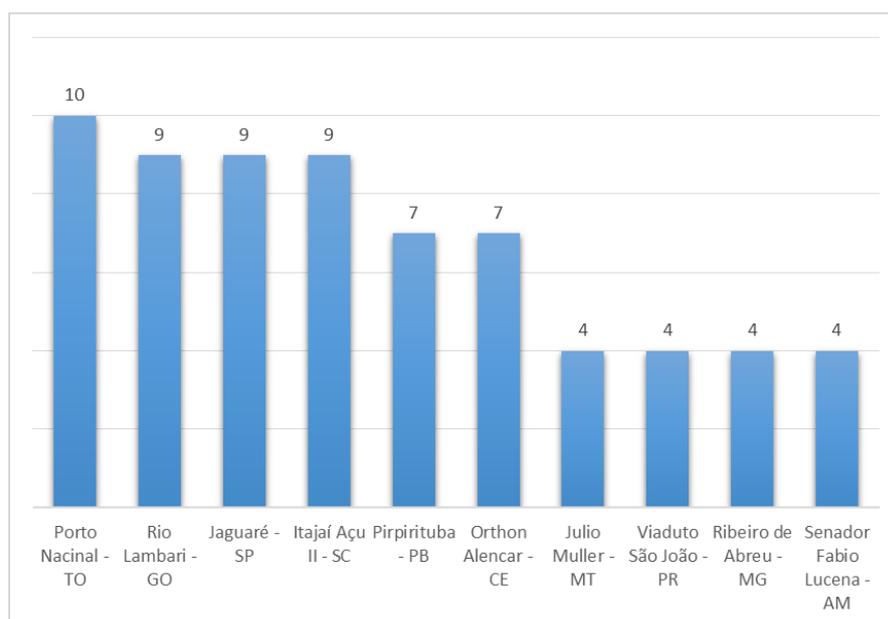
Essa anomalia, além de várias possíveis causas, pode possuir muitos prognósticos, evoluindo para outros tipos de manifestações patológicas. Como exemplo, uma fissura pode ter como causa do mecanismo de formação a corrosão da armadura da peça, e evoluir para o deslocamento do concreto na área atacada. Por isso, a Lei de Sitter nos mostra que quanto mais tarde tomarmos decisões para aumento da durabilidade da estrutura, mais caro será

Souza e Ripper (1998) explicam que a fissuração é o agravamento do processo de corrosão. No exemplo citado anteriormente, sua origem pode ser o dimensionamento incorreto do cobrimento da armadura, o que levou a entrada de agentes agressivos com maior facilidade pelos poros do concreto e a despassivação da armadura. Com isso, houve o processo de corrosão da armadura, fazendo com que ela aumentasse oito vezes de tamanho e fizesse pressão no concreto, surgindo as fissuras paralelas ao aço. Caso esse erro tivesse sido notado ainda na fase de projeto, seu reparo seria muito mais fácil do que após o término da construção.

Realizando outra análise entre os artigos pesquisados, pode-se notar a unanimidade na afirmação de que a falta de manutenção nas pontes pesquisadas, gerou um agravamento do quadro patológico delas. Da mesma forma na ponte do presente estudo de caso, que o descaso com a manutenção levou ela a um estado inadmissível.

Também foi possível identificar, entre todas as cidades pesquisadas, qual mais apresentou anomalias. A cidade com mais tipos diferentes de manifestações patológicas é Porto Nacional, no Tocantins, como mostra o gráfico da figura 11.

Figura 11 – Número de manifestações patológicas por ponte.



Fonte: Autor (2019).

Entre os artigos analisados, Porto Nacional possui 10 das 67 manifestações patológicas encontradas. Essa ponte foi construída em 1978 e desde então, passou por poucas manutenções. Sua estrutura, devido à idade e aumento do tráfego, que hoje é composto por muitos caminhões, não estão de acordo com a nova realidade que a estrutura está exposta. Esses fatores somados ao descaso que é dado a manutenções foram causando as anomalias encontradas na estrutura que, atualmente, está interditada.

Com exceção dos artigos dos estados de Goiás e Paraná, todas as metodologias contaram apenas com inspeção visual e registros fotográficos, sem nenhum manual a ser seguido. Ao final listaram somente as manifestações patológicas encontradas.

O artigo de Goiás utilizou de duas metodologias diferentes: do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes) e a utilizada na Eslovênia, pelo Instituto Nacional Esloveno de Construção e Engenharia Civil (ZAG). Ao final, ele compara as duas e analisa suas vantagens e desvantagens.

O artigo de Paraná utilizou o método Delphi para realização da pesquisa. Esse método é utilizado para extrair e maximizar as vantagens dos estudos em grupos de especialistas. Em sua metodologia, ele realiza dez perguntas para cada especialista e ao final relaciona as respostas.

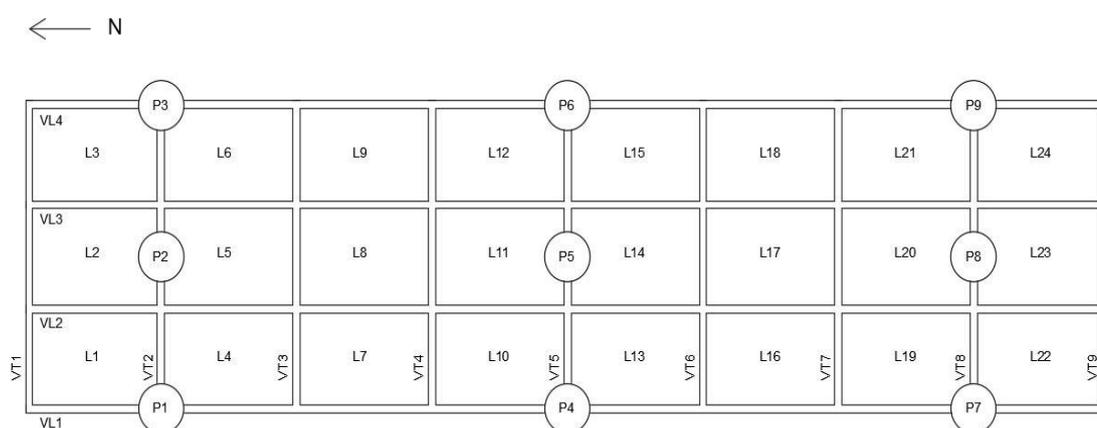
Dentre elas, foi possível retirar análises interessantes como as principais causas de necessidade de realização de reforço estrutural nas pontes, as patologias mais frequentes encontradas em Obras de Artes Especiais, recomendações para realização de reforços estruturais, entre outras.

Com isso, nota-se que os artigos que possuíam metodologias genéricas apresentaram resultados mais superficiais do que os que utilizaram de algum método já pré-definido. Os artigos de Goiás e Paraná apresentaram resultados com maior embasamento teórico.

## 4.2 DESCRIÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA PONTE DE PALMAS – TO

Na figura 12 estão apresentadas as nomenclaturas utilizadas para todos os elementos estruturais durante a pesquisa. Essa identificação não foi alterada e auxiliou na realização das planilhas da metodologia GDE/UnB.

Figura 12 – Croqui da OAE do estudo de caso.



Fonte: Autor (2019).

Esse croqui foi realizado após a primeira visita à ponte, que teve o intuito de uma inspeção generalizada da estrutura.

### 4.2.1 Pilares

Em toda a estrutura analisada, os pilares foram os elementos mais deteriorados, encontrando-se anomalias principalmente em sua base. Com exceção dos pilares sete, oito e nove, todos foram classificados pela metodologia em estado de deterioração crítica, como será visto a seguir.

As manifestações patológicas mais encontradas nos pilares foram a desagregação, o deslocamento do concreto e a corrosão das armaduras, aparecendo em sete dos nove pilares inspecionados. Em alguns casos, os estribos da armadura encontravam-se rompidos. Apesar da fissura ser uma manifestação pouco encontrada na ponte, ela provavelmente antecedeu esses fenômenos mais encontrados, criando assim uma semelhança com as pontes espalhadas pelo país que foram estudadas no tópico anterior.

Outra manifestação muito recorrente foram os sinais de esmagamento. De acordo com a metodologia GDE/UnB, esses sinais se caracterizam pelas fissuras diagonais ou verticais, podendo evoluir para um intenso lascamento do concreto. Esse deslocamento excessivo foi visto em praticamente todos os pilares da estrutura.

Figura 13 - Desagregação, deslocamento do concreto e corrosão das armaduras no pilar 4.



Fonte: Autor (2019).

O pilar mais afetado da estrutura é o pilar seis (P6). Nele foram encontradas as seguintes anomalias, seguindo os padrões da metodologia GDE/UnB: cobertura deficiente, corrosão das armaduras, desagregação, deslocamento, fissuras, manchas de bolor e sinais de esmagamento. Devido ao grau de intensidade dessas manifestações, isso gerou um nível de deterioração crítico no elemento. As fotos a seguir demonstram o estado real do elemento.

Figura 14 – Desagregação, deslocamento, cobrimento deficiente e corrosão da armadura do pilar 6.



Fonte: Autor (2019).

Na figura 14, pode-se observar o deslocamento do concreto na lateral esquerda, a desagregação no centro e nas laterais, e toda a armadura em estado de corrosão, havendo até perda de seção. Todos esses sinais indicam um esmagamento por compressão do pilar, provavelmente por cargas excessivas na estrutura. Também é possível notar que o cobrimento é insuficiente para o tipo de construção, visto que o ambiente é úmido e conseqüentemente agressivo às estruturas.

Figura 15 – Deslocamento do concreto, corrosão das armaduras e fissuras diagonais no pilar 6.



Fonte: Autor (2019).

Na figura 15, é possível verificar as mesmas anomalias citadas anteriormente, e também as fissuras no canto direito da imagem. Segundo a classificação de fissuras presente no manual de aplicação da metodologia GDE/UnB, elas se assemelham a compressão em pilares.

Figura 16 - Fissuras no pilar 6.



Fonte: Autor (2019).

Na figura 16 podem-se ver fissuras que estão gerando o deslocamento do concreto, que pode ser facilmente removido em placas. É perceptível que todas as anomalias estão em estado avançado, não sendo mais suficiente manutenção preventiva.

#### **4.2.2 Vigas**

As vigas são divididas em principais e secundárias. As vigas principais são as quatro longarinas, e as secundárias são as nove transversinas. A manifestação patológica mais encontrada nas vigas foram as infiltrações de água, seguida pela eflorescência. Uma é o início da outra, então é provável que no futuro surjam mais eflorescências.

Figura 17 - Forte infiltração de água na viga transversina 6 (VT6).



Fonte: Autor (2019).

A figura 17 indica uma das infiltrações encontradas. Nesse caso, é possível notar que isso foi gerado devido ao dreno instalado na pista, para que houvesse a drenagem da água da chuva. No entanto, o mau posicionamento e a má impermeabilização desse dreno fizeram com que a água escorresse pela laje e em seguida pela viga, transportando também a sujeira do pavimento.

A viga mais afetada foi a viga longitudinal quatro (VL4), possuindo nível de deterioração médio e que apresentava falha de concretagem, eflorescência, infiltração de água e manchas de bolor.

Figura 18 - Manifestações patológicas na viga longarina 4 (VL4).



Fonte: Autor (2019).

Na figura 18, é possível enxergar as manchas de bolor em grandes extensões, a infiltração que vem do tabuleiro superior, e eflorescências. Todas essas manifestações patológicas tem como origem de mecanismo a água, a diferença está na sua permanência.

Para ocorrerem as manchas de bolor, é necessário que haja umidade constante. Isso é fácil de notar na ponte estudada, pois o ambiente é úmido devido ao córrego que passa embaixo, acrescido de toda a vegetação que está em volta.

Figura 19 - Falhas de concretagem e manchas de bolor na viga longarina 4 (VL4).



Fonte: Autor (2019).

Já na figura 19, é possível ver mais de perto as manchas de bolor presentes e a falha de concretagem no canto inferior da viga. Essa falha gera perda de resistência nessa região, devido à falta de homogeneidade do material. Além disso, permite a entrada dos agentes agressivos com mais facilidade, chegando até a armadura, que é um dos principais problemas.

#### 4.2.3 Lajes

As lajes foram os elementos mais difíceis de serem inspecionados devido à altura e falta de iluminação. No entanto, praticamente todas elas apresentaram as mesmas anomalias, que foram infiltrações e eflorescência. Algumas em maior ou menor quantidade ou acompanhadas de outras manifestações.

Figura 20 - eflorescência e infiltração de água na laje 8 (L8).



Fonte: Autor (2019).

A maior parte das lajes possuía uma configuração semelhante à apresentada na figura 20: manchas brancas de eflorescência, e manchas mais escuras de infiltração de água. O prognóstico para ambas as manifestações é o de corrosão da armadura. Ambos possuem a presença de água, que estão tendo contato com o aço da estrutura e afetando-o de dentro para fora. As eflorescências podem transportar mais materiais e causar o acúmulo deles na superfície e causar estalactites.

A laje mais afetada é a dezesseis (L16), que contém cobertura deficiente, corrosão de armaduras, eflorescência e infiltração de água.

Figura 21 - corrosão de armadura, infiltração de água e eflorescência na laje 16 (L16).



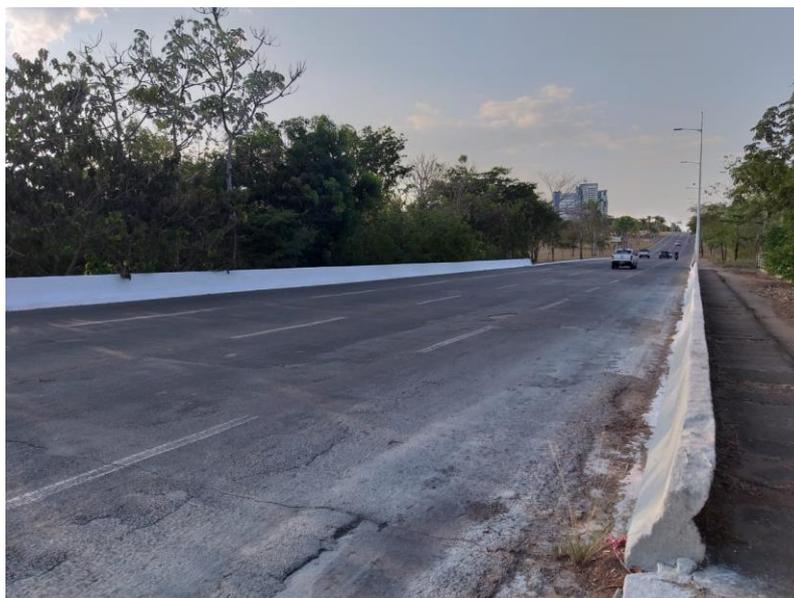
Fonte: Autor (2019).

Na figura 21 nota-se a corrosão no lado direito da laje, que há pouca exposição de armadura, porém muita mancha. Também se podem ver as manchas brancas de eflorescência e manchas de infiltração de água. Apesar de parecer que haja fissuras, são apenas o formato das formas que foram usadas para concretagem.

#### **4.2.4 Pista de rolamento**

Na pista de rolamento, não há muitas degradação para o padrão da metodologia GDE/UnB. Nela foram encontradas apenas desgaste superficial e desgaste da sinalização.

Figura 22 - Degradação do pavimento na pista de rolamento.



Fonte: Autor (2019).

Pode-se notar o desgaste da superfície do pavimento principalmente nas laterais e fissuras longitudinais e transversais. Também nota-se o desgaste da sinalização, que devido ao intenso uso da avenida está desaparecendo.

Na lateral direita é visualizado um afundamento plástico, que é uma deformação na superfície do asfalto acompanhada de solevamento. Solevamento é a compensação dessa deformação nas laterais.

#### **4.2.5 Guarda corpo**

Há apenas um guarda corpo no lado direito da avenida. O guarda corpo é misto, composto de concreto e estruturas metálicas. Foram encontradas manchas de bolor em toda extensão do concreto, assim como manchas de eflorescência.

Figura 23 - Manchas de bolor e eflorescência no guarda corpo.



Fonte: Autor (2019).

É possível observar que há um acúmulo de material próximo ao guarda corpo, por isso é presumível que a água da chuva também fica empoçada. Nesse caso, é o local apropriado para a proliferação de fungos e infiltração de água no concreto.

#### **4.2.6 Guarda rodas**

Havia dois guarda rodas na ponte, uma em cada extremidade e ambos apresentavam anomalias semelhantes. Eles foram recentemente pintados de branco, por isso não foi possível notar algumas manifestações na parte frontal. No entanto, na parte de trás ficam evidentes.

O guarda rodas mais degradado foi o guarda rodas da direita (GR1). Nele foram encontradas corrosão de armadura, desagregação, fissuras mapeadas e manchas de bolor, como mostram as figuras a seguir.

Figura 24 - Fissuras mapeadas no guarda rodas direito.



Fonte: Autor (2019).

Nessa figura, pode-se notar algumas fissuras mapeadas que são inferiores aos limites de 2mm da NBR 6118, porém apresentam manchas avermelhadas que podem ser sinais de corrosão da armadura.

Figura 25 - Manchas de bolor no guarda rodas direito.



Fonte: Autor (2019).

Na figura anterior, ficam evidentes as manchas de bolor em toda a extensão do elemento.

### 4.3 ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Durante a inspeção baseada na metodologia GDE/UnB na Obra de Arte Especial, foram encontrados 146 danos na estrutura, divididas em 12 tipos de anomalias.

Tabela 5 - Manifestações patológicas encontradas na ponte avaliada.

| MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA | NÚMERO DE REPETIÇÕES |
|-------------------------|----------------------|
| Cobrimento deficiente   | 8                    |
| Corrosão de armaduras   | 11                   |
| Desagregação            | 8                    |
| Desgaste superficial    | 1                    |
| Desgaste da sinalização | 1                    |
| Deslocamento            | 7                    |
| Eflorescência           | 35                   |
| Falha de concretagem    | 12                   |
| Fissuras                | 11                   |
| Infiltração de água     | 36                   |
| Manchas de bolor        | 10                   |
| Sinais de esmagamento   | 6                    |
| <b>Total</b>            | <b>146</b>           |

Fonte: Autor (2019).

É possível observar na tabela 5 que o dano de maior incidência foi a infiltração de água, observada em 36 dos 46 elementos estruturais da ponte. Todas as lajes e, com exceção da VT9, todas as vigas possuíam essa anomalia. Essa manifestação pode ser observada em manchas de umidade que ainda não haviam virado bolor ou eflorescência.

Em seguida, as eflorescências foram encontradas em 35 dos elementos estruturais, sendo eles 21 pilares, 11 vigas, 2 pilares e no guarda corpo. Algumas se apresentavam apenas na forma de mancha esbranquiçada, enquanto outras assumiam um aspecto pulverulento mais acentuado, que é o hidróxido de cálcio que foi lixiviado.

Pode-se perceber que a água é um ponto muito importante para a conservação da estrutura. Ao juntar todas as manifestações patológicas provenientes dela, que são as eflorescências, infiltrações e manchas de bolor, têm-se 55,5% dos danos totais. Ou seja, mais da metade do processo de deterioração da estrutura poderia ter sido evitado com a utilização de impermeabilizações mais eficientes ou até mesmo a manutenção ao final de vida útil delas.

Os sinais de esmagamento, apesar de serem encontrados em apenas seis pilares, é extremamente prejudicial à estrutura. Eles foram observados em formas de fissuras, deslocamento excessivo do concreto, fissuras diagonais e rompimento de estribos, que indicam o início de uma flambagem do pilar.

Além dos fatores indicados pela metodologia, foi notada muita presença de cupins nos elementos estruturais. Segundo Souza e Ripper (1998), eles se instalam em elementos estruturais e podem provocar a diminuição da capacidade de resistência, ocasionando fissuras.

#### 4.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UnB

Depois de realizadas as inspeções in loco, os dados foram tratados a fim de que fosse possível chegar aos resultados sugeridos. Para exemplificar como são obtidos esses números será utilizado o elemento VL1 (viga longitudinal 1), as demais tabelas estão localizadas no apêndice A.

Na visita, são divididos os elementos de acordo com as famílias da tabela 1, presente no item 2.6.2. E então inicia-se a inspeção de cada elemento com o auxílio das fichas de inspeção que constam no manual (figura 5, item 2.6.2).

Os valores do Fator de ponderação do dano (Fp) já são pré-estabelecidos pela metodologia, com exceção das fissuras. As fissuras possuem diferentes valores de Fp de acordo com sua origem.

O Fator de intensidade do dano (Fi) é estabelecido de acordo com a agressividade do dano, obedecendo aos valores predeterminados pela metodologia, como mostra a tabela 2, no item 2.6.2.

Figura 26 - Fator de intensidade dos danos adotados para VL1.

| Nome do elemento      | VL1 |    |
|-----------------------|-----|----|
|                       | Fp  | Fi |
| Danos                 |     |    |
| Eflorescência         | 2   | 2  |
| Fissuras              | 3   | 2  |
| Falhas de concretagem | 2   | 1  |
| Infiltração de água   | 3   | 2  |
| Manchas               | 3   | 3  |

Fonte: Autor (2019).

No caso da VL1, o  $F_p$  da fissura no valor 3 foi estabelecido de acordo com a figura 6, indicada no item 2.6.2. Para esse caso, a fissura apresentada na viga pode ter acontecido já no estado endurecido, com a retração do concreto por secagem.

Os  $F_i$  foram estabelecidos de acordo com as seguintes classificações:

- a) eflorescência: manchas de pequenas dimensões
- b) fissuras: estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites da norma;
- c) falha de concretagem: superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça;
- d) infiltração de água: pequenas manchas;
- e) manchas: manchas escuras de grande extensão (>50%).

Em seguida, esses valores foram utilizados para encontrar o Grau de dano (D) de cada manifestação encontrada. Para esse dado, são geradas duas equações para serem utilizadas quando o  $F_i$  for maior ou menor que 2, como já explicado. Os cálculos foram realizados de acordo com as equações 1 e 2, demonstrada no item 2.6.2, como indicado a seguir.

$$D_{\text{eflorescencia}} = 0,8 \times 2 \times 2 \rightarrow D = 3,2$$

$$D_{\text{fissuras}} = 0,8 \times 2 \times 3 \rightarrow D = 4,8$$

$$D_{\text{falha}} = 0,8 \times 1 \times 2 \rightarrow D = 1,6$$

$$D_{\text{infiltração}} = 0,8 \times 2 \times 3 \rightarrow D = 4,8$$

$$D_{\text{manchas}} = (12 \times 3 - 28) \times 3 \rightarrow D = 24$$

Obtidos os valores de D, é calculado o valor do Grau de deterioração do elemento (Gde), de acordo com a equação 3.

$$G_{\text{de}} = 24 \left[ 1 + \frac{(3,2 + 4,8 + 1,6 + 4,8 + 24) - 24}{3,2 + 4,8 + 1,6 + 4,8 + 24} \right]$$

$$G_{\text{de}} = 33,00$$

A partir desse valor, são indicados os níveis de deterioração do elemento e quais ações podem ser tomadas. No caso da VL1, seu nível de deterioração é médio devendo ser definido o prazo/natureza para nova inspeção e deve ser planejada intervenção em um prazo máximo de 2 anos.

Todos os cálculos mostrados foram realizados em cada dano de cada elemento estrutural. A tabela 6, 7 e 8 indicam o Gde de cada elemento dividido por

famílias, seguindo os mesmos cálculos apresentados, e o nível de deterioração dos mesmos.

Tabela 6 - Grau de deterioração dos elementos da família dos guarda corpos, guarda rodas e pista de rolamento.

| <b>Elemento</b> | <b>Gde</b> | <b>Nível de deterioração</b> |
|-----------------|------------|------------------------------|
| GC              | 26,82      | Médio                        |
| GR1             | 79,82      | Alto                         |
| GR2             | 63,04      | Alto                         |
| PR1             | 60,00      | Alto                         |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 7 - Grau de deterioração dos elementos da família das lajes e vigas secundárias.

| <b>Elemento</b> | <b>Gde</b> | <b>Nível de deterioração</b> |
|-----------------|------------|------------------------------|
| VT1             | 7,54       | Baixo                        |
| VT2             | 6,00       | Baixo                        |
| VT3             | 28,00      | Médio                        |
| VT4             | 26,82      | Médio                        |
| VT5             | 6,00       | Baixo                        |
| VT6             | 26,82      | Médio                        |
| VT7             | 6,72       | Baixo                        |
| VT8             | 6,00       | Baixo                        |
| VT9             | 25,04      | Médio                        |
| L1              | 30,00      | Médio                        |
| L2              | 26,82      | Médio                        |
| L3              | 26,82      | Médio                        |
| L4              | 19,69      | Médio                        |
| L6              | 36,20      | Médio                        |
| L7              | 33,60      | Médio                        |
| L8              | 33,60      | Médio                        |
| L9              | 33,60      | Médio                        |
| L10             | 35,14      | Médio                        |
| L11             | 30,00      | Médio                        |
| L12             | 26,82      | Médio                        |
| L13             | 26,82      | Médio                        |
| L14             | 63,04      | Alto                         |
| L15             | 61,56      | Alto                         |
| L16             | 72,63      | Alto                         |
| L17             | 63,04      | Alto                         |
| L18             | 33,60      | Médio                        |
| L19             | 35,14      | Médio                        |
| L20             | 13,24      | Baixo                        |
| L21             | 26,82      | Médio                        |
| L22             | 60,00      | Alto                         |
| L23             | 60,00      | Alto                         |
| L24             | 60,00      | Alto                         |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 8 - Grau de deterioração dos elementos da família das vigas e pilares principais.

| Elemento | Gde    | Nível de deterioração |
|----------|--------|-----------------------|
| P1       | 156,60 | Crítico               |
| P2       | 156,29 | Crítico               |
| P3       | 168,11 | Crítico               |
| P4       | 161,54 | Crítico               |
| P5       | 154,55 | Crítico               |
| P6       | 171,97 | Crítico               |
| P8       | 36,00  | Médio                 |
| P9       | 24,00  | Médio                 |
| VL1      | 33,00  | Médio                 |
| VL2      | 7,38   | Baixo                 |
| VL3      | 7,38   | Baixo                 |
| VL4      | 36,00  | Médio                 |

Fonte: Autor (2019).

Com esses dados, o próximo passo dado é calcular o Grau de deterioração da família (Gdf) a partir da equação 4. A VL1 está localizada na família de vigas e pilares principais, como mostra o tabela 8.

$$G_{df} = 171,97 \sqrt{1 + \frac{(156,60+156,29+168,11+161,54+154,55+171,97+36+24+33+7,38+7,38+36) - 171,97}{(156,60+156,29+168,11+161,54+154,55+171,97+36+24+33+7,38+7,38+36)}}$$

$$G_{df} = 233,62$$

A tabela 9 apresenta o Gdf das famílias restantes da ponte e seus respectivos Fator de relevância, pré-estabelecidos na tabela 1.

Tabela 9 - Grau de deterioração das famílias e fator de relevância.

| Família  | Gdf    | Fr |
|--|--------|----|
| Guarda-corpo, guarda-rodas, pista de rolamento | 102,61 | 1  |
| Lajes e vigas secundárias                      | 100,92 | 4  |
| Vigas e pilares principais                     | 233,62 | 5  |

Fonte: Autor (2019).

Para finalização da análise da estrutura, é calculado o grau de deterioração da estrutura (Gd) de acordo com a equação 5. Esse valor vem acompanhado da classificação dos níveis de deterioração e ações possíveis de serem tomadas.

$$G_d = \frac{(102,61 * 1) + (100,92 * 4) + (233,62 * 5)}{1 + 4 + 5}$$

$$G_d = 167,44$$

O valor de Gd encontrado indica que a ponte estudada está em um nível de deterioração crítico, sugerindo inspeção especial emergencial e planejamento de uma intervenção imediata.

Esse valor pode ser facilmente compreendido se analisado o nível de deterioração dos pilares da estrutura. Eles se encontram extremamente danificados, com perda de sessão de concreto e armadura em muitos deles, além de terem fator de relevância máximo para estrutura.

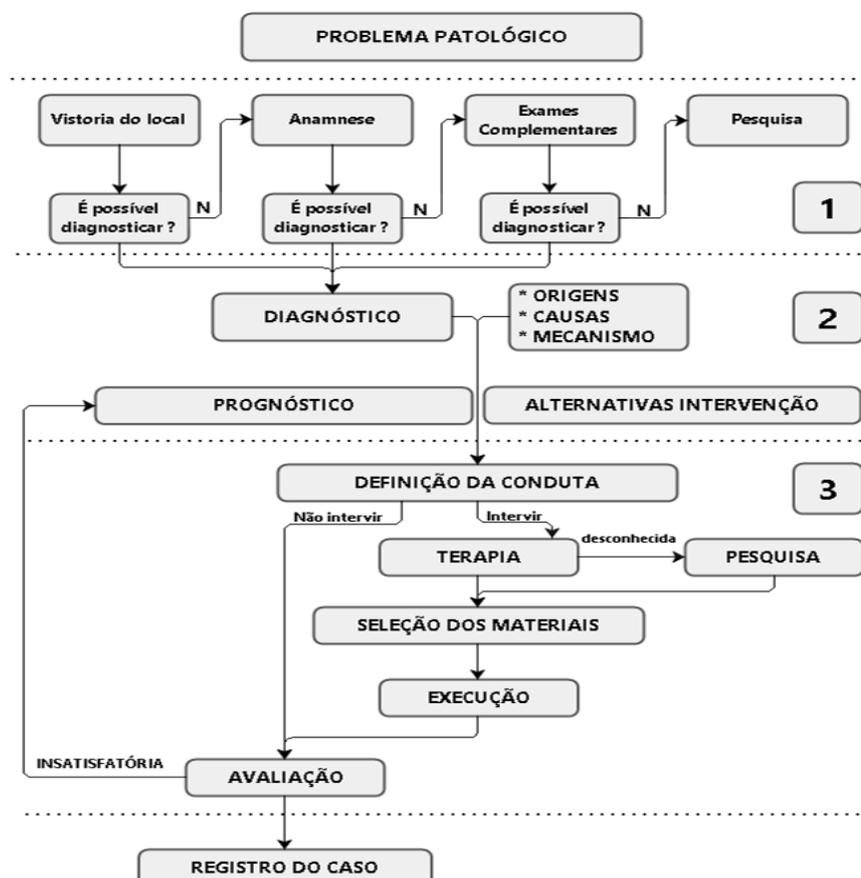
São eles quem distribuem as cargas provenientes do tabuleiro para a fundação, e uma das causas possíveis para esse excesso de danificação é a sobrecarga.

Como está enterrada, não foi possível a inspeção das fundações, por isso não pode-se informar o nível de deterioração da mesma. Também não foram possíveis fazer ensaios na ponte, pois não foi permitido pela secretaria de infraestrutura a retirada de corpos de prova, ou de qualquer sessão de concreto.

#### 4.5 POSSÍVEIS CAUSAS E REPAROS

A realização do diagnóstico das anomalias foi realizado de acordo com o fluxograma apresentado por Ribeiro (2019).

Figura 27 - Fluxograma para diagnóstico de manifestações patológicas.



O cronograma inicia-se com inspeções ao local, generalizada e detalhada, onde são realizadas as análises iniciais das anomalias, mapeamentos, ensaios básicos, etc. Dificilmente é possível ter o diagnóstico nesse primeiro passo, então segue-se para a anamnese.

A anamnese é composta de informações formais, análise de documentos, projetos, entrevistas com usuários e executores. Também podem ser analisadas controles tecnológicos, laudos de materiais, investigação a respeito dos problemas encontrados, entre outros documentos que sirvam para o diagnóstico.

Este trabalho pôde ir apenas até a vistoria. Não foi possível obter acesso a nenhum documento da ponte, nem realizar nenhum tipo de ensaio complementar, por isso nenhuma das causas e reparos apresentados a seguir passam de possibilidades.

#### **4.5.1 Cobrimento deficiente**

O cobrimento deficiente foi encontrado, inferior aos 3,0 cm determinados pela NBR 6118:2014, em quatro pilares e quatro lajes. Essa anomalia pôde ser identificada com o auxílio de um paquímetro, e nas lajes devido à exposição da armadura na superfície do concreto.

Para iniciar-se a procura pelas causas de uma anomalia, deve ser identificada sua origem de responsabilidade. Como indicado no item 2.3.1, a falha no cobrimento é de causa intrínseca, ou seja, pode ser decorrente de falhas humanas na execução ou utilização. Nesse caso, o erro pode ter sido cometido tanto na fase de projeto, quanto na fase de execução.

A NBR 6118:2014, norma que deve ser seguida pelos autores do projeto estrutural, estabelece cobrimentos mínimos de acordo com o grau de agressividade do meio ambiente, além de associar diretamente a qualidade do concreto desse cobrimento com a durabilidade da estrutura. Levando em consideração o ano da última atualização dessa norma, aproximadamente 20 anos após a construção da ponte, a versão que deve ser analisada é a de 1978.

Na NBR 6118:1978, os cobrimentos mínimos podem ser de até 0,5 cm para lajes no interior da estrutura. No caso da ponte, que se enquadra na classe “concreto aparente ao ar livre”, o cobrimento mínimo é de 2,5 cm. Sendo assim, esses valores, apesar de facilitarem a entrada de agentes agressivos, são aceitos por estarem de acordo com a norma da época.

No entanto, o cobrimento deficiente não é observado em todo o elemento, apenas em alguns locais. Pode-se perceber que em algumas faces dos pilares a armadura está mais próxima da superfície do que em outras. Por isso, é possível que a origem dessa manifestação seja oriunda da fase de execução. Isso pode ter ocorrido devido à falta de controle de qualidade durante as concretagens e mão de obra desqualificada.

Souza e Ripper (1998) indicam algumas possibilidades de reparos para esse tipo de anomalia. Um dos reparos sugeridos inicia-se com o preparo da superfície por meio do apicoamento, seguido de limpeza com jato de ar comprimido ou água e uma camada adicional de revestimento em concreto ou argamassa. Em geral, os apicoamentos são de apenas 10 mm.

Após a retirada dessa camada superficial, o local deve ser limpo e preparado para ser refeito. Nesse processo pode ser utilizada argamassa de reparo, que é um produto pronto formulado à base de cimento Portland, que resulta em uma argamassa de alta resistência mecânica. Também é recomendada por Souza e Ripper (1998) a utilização de argamassa de base resinas epóxi, que são produtos obtidos com agregados miúdos e um ligante de polímero. Em outros casos, também é possível refazer a camada utilizando concreto.

#### **4.5.2 Corrosão das armaduras**

Na ponte de Palmas-TO, pode-se encontrar sintomas de corrosão em onze elementos da ponte: seis pilares, quatro lajes e um guarda-rodas. Em alguns casos ela se encontrava de forma mais agressiva, principalmente nos pilares, e em outros de forma mais branda, como no guarda-rodas.

Na procura pelas possíveis causas, pode-se levar em consideração o cobrimento, explanado no item 4.5.1. Quanto menor o cobrimento da armadura, e pior for o concreto utilizado, mais fácil será a entrada dos agentes. Como não foi possível realizar a etapa de anamnese com os documentos, memoriais, projetos, tampouco entrevistas com os responsáveis, não sabe-se qual a resistência do concreto, seu traço e características.

De acordo com Helene (1986), precisam existir agentes agressivos para acelerar a corrosão. É possível elencar alguns que podem estar presentes na ponte de Palmas: a umidade, cloretos e gás carbônico.

Dito isso, a presença do Córrego Brejo Comprido que passa embaixo da ponte pode ser uma das possíveis causas dessas anomalias. Não foram realizados ensaios nessas águas para que possa ser afirmado a presença de alguns íons, porém apenas a umidade do local já influencia. Admitindo que o aço já está exposto devido às outras manifestações patológicas existentes na estrutura, como o deslocamento do concreto, a umidade do ambiente atinge de forma substancial a armadura.

A corrosão também pode ter ocorrido devido a carbonatação do concreto. Explicada no item 2.3.2.3, a carbonatação é resultado da interação dos agentes externos, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), com componentes do concreto, hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). O gás carbônico presente no macroclima urbano pode ter penetrado nos poros do concreto, despassivando a armadura e a corroído. Porém, também não foram autorizados o ensaio de carbonatação do concreto, que é realizado com solução de fenolftaleína, e dessa forma não pode-se afirmar a sua existência.

A corrosão dessas barras, associada ao esforço mecânico ao qual elas estão submetidas devido ao tráfego, provavelmente ocasionou o rompimento de algumas barras na parte inferior dos pilares. Nesses casos, deve ser realizado um reforço estrutural, pois a área de aço necessária para suportar o carregamento da estrutura está extremamente danificada.

A técnica de reforço mais utilizada no Brasil, segundo Souza e Ripper (1998), é o aumento da seção transversal existente. Para realização desse procedimento, é necessário que o tráfego da ponte seja interrompido, para que a carga nos elementos será inferior. Como não é possível realizar a descarga total nos pilares, elemento onde ocorreria o reforço na ponte, é necessário projetar um novo pilar cintado que absorva a carga existente. Esse trabalho deve ser realizado por profissionais especializados na área.

Para a recuperação das áreas apenas corroídas, devem ser seguidos os passos a seguir, conforme Lapa (2008):

- a) remover todo o concreto contaminado ao redor da armadura, com jato d'água ou ferramentas manuais. Essa remoção deve deixar um espaço livre entre a armadura e o concreto de 2cm;
- b) limpar as barras corroídas;
- c) realizar pintura das barras com tinta especial anti-ferruginosa;

- d) realizar nova concretagem com o auxílio de forma com funil. Nesses casos, deve ser levado em consideração na escolha do concreto que ele não poderá ser vibrado.

#### **4.5.3 Desagregação e deslocamento**

Nesse tópico serão abordados as possíveis causas e reparos para a desagregação e o deslocamento do concreto, visto que ambos são semelhantes, provem das mesmas circunstâncias e podem ser reparados da mesma maneira.

Esses sintomas foram encontrados em sete pilares da ponte, praticamente todos eles, além de um guarda-rodas. Em alguns, muita seção de concreto foi perdida, deixando a base dos pilares com deficiência na sua capacidade portante e as armaduras expostas à corrosão.

Essas anomalias podem ocorrer por diversas causas, sendo elas: utilização incorreta de materiais na construção, ações biológicas, fissuração, etc. As causas biológicas são elencadas como um importante agente de deterioração nas pontes, devido ao crescimento de vegetação nas estruturas e aos microrganismos.

Pode-se considerar a causa da excessiva desagregação como reação álcalis-agregados. Isso ocorre pela interação dos próprios componentes do concreto, que geram reações expansivas, causando fissuras e, posteriormente, a desagregação.

As causas químicas podem ser consideradas também, se admitir-se que havia fissuras provenientes de outras causas, como retração térmica, antes da desagregação. Essas fissuras permitiram que os agentes agressivos do ambiente entrassem na estrutura, e reagissem de forma expansiva, gerando pressão no concreto e o fazendo perder massa.

No caso da ponte estudada, ela se encontra predominantemente nos pilares, onde pode estar relacionada a outros problemas já existentes, como: a corrosão das armaduras, fissuras, eflorescência e o esmagamento. Todos esses podem ter sido o motivo desse nível de desagregação.

Na recuperação de manifestações patológicas, é necessário recuperar aquilo que é mais prejudicial à estrutura. Considerando que em todo local onde há desagregação e deslocamento, há também a corrosão de armadura, essa deve ser priorizada. Nesse caso, a recuperação segue-se como indicado no item anterior.

#### 4.5.4 Eflorescência

As eflorescências ocorrem por um processo químico na estrutura após o processo de lixiviação, como mencionado no item 2.3.2.8. Para que ocorra esse arraste de material para a superfície, é necessária a presença de água sob pressão infiltrando no interior da estrutura, e para isso, a primeira possível causa que pode-se considerar é a deficiência na impermeabilização do tabuleiro.

Tendo a eflorescência como a segunda maior manifestação patológica presente na ponte, as lajes são as mais afetadas por ela. Isso confirma o que foi falado anteriormente sobre a impermeabilização, visto que as lajes são o primeiro contato das águas sob pressão. Ou seja, a impermeabilização do tabuleiro antes da camada de pavimentação não foi realizada de forma eficiente, fazendo com que a água ficasse empoçada e gerasse a pressão necessária para infiltrar e hidrolisar materiais.

A qualidade e a resistência do concreto também tem influência nesse problema, pois quanto menor for a resistência do concreto, maior será a sua porosidade e permeabilidade, permitindo que a água entre com maior facilidade na estrutura. Para ter certeza dessa causa, seria necessário uma anamnese mais detalhada, realizando ensaios, entrevistas, análise de documentos e até mesmo o controle tecnológico dos materiais utilizados.

Esse processo pode ter sido o prelúdio para outras manifestações patológicas, como a corrosão, a desagregação e o deslocamento.

Lapa (2008) afirma que grande parte das eflorescências podem ser removidas apenas com limpeza superficial da estrutura, utilizando métodos como escovação, jateamento d'água ou jateamento de areia. No entanto, há eflorescências com a presença de sais mais resistentes; nesse caso, é necessária a utilização de ácido muriático ou fosfórico diluído em água.

No processo de remoção com ácidos, é muito importante que a superfície seja saturada com água pura antes do procedimento, para que ela não absorva a solução com ácido. Após o agir dessa solução, a eflorescência deve ser escovada e lavada com água pura.

Porém, a causa do problema também deve ser tratada. Nesse caso, a impermeabilização do tabuleiro deve ser refeita.

#### 4.5.5 Fissuras

Souza e Ripper (1998) alegam que as fissuras são os problemas patológicos mais complexos para diagnosticar, pois elas podem se instalar na estrutura como consequência da interação de diversas causas, e isso requereria um nível de análise muito mais aprofundado. Em seu livro pode-se encontrar inúmeros processos prováveis que geram fissuras de diferentes configurações e tamanhos.

Como já mencionado, não foi possível a realização de ensaios de nenhuma espécie na ponte, apenas inspeções visuais. Sendo assim, todas as causas apresentadas a seguir são meramente possibilidades.

Não foram encontradas muitas fissuras na ponte estudada, apesar de que as desagregações provavelmente se iniciaram com fissuras, porém a maior parte das que foram encontradas está nas lajes.

De acordo com a configuração dessas fissuras nas lajes, é possível relacioná-las com as ilustrações do livro de Souza e Ripper (1998). Neste livro, é indicado que a possível causa para essas fissuras é o esmagamento do concreto, devido à espessura reduzida da laje, surgindo fissuras na parte inferior do elemento.

A corrosão das armaduras também podem ser consideradas como um causador de fissuras, devido à sua expansão de volume que exerce pressão dentro do concreto. Com isso, o concreto fissura paralelamente à armadura corroída e favorece a entrada de outros agentes agressivos que causam mais problemas patológicos na estrutura.

Essa configuração pode ser notada nas lajes da estrutura, visto que, aparentemente, as fissuras se localizam na direção paralela das armaduras. Esse tipo de aparência das fissuras também pode indicar a perda de aderência do aço com o concreto, segundo Souza e Ripper (1998).

A retração do concreto pode ser o motivo tanto das fissuras nas lajes quanto nas vigas, aparecendo da parte superior das vigas e inclinadas, e em forma de mosaico nas lajes. Esse processo vem de alguns fatores não serem levados em conta no projeto, como: as altas temperaturas da cidade, a incidência de ventos e radiação solar, a falta da armadura de pele e até mesmo o excesso de água na estrutura.

Entre tantas possíveis causas, é impossível que seja indicada com certeza qual delas é a causadora das fissuras existentes na ponte sem estudos de projetos e

documentos da ponte mais aprofundados e sem a realização de ensaios. Pode-se elencar algumas possibilidades de reparo, porém o tratamento adequado dependerá diretamente das suas causas.

Para apresentar um dos possíveis reparos, serão consideradas apenas se as fissuras são ativas ou passivas, independente da causa real de cada uma delas.

Não há muito o que ser feito no caso de fissuras ativas, visto que não há sentido em realizar o “fechamento” de uma fissura que voltará a aparecer devido a persistência da causa na estrutura. Por isso, Lapa (2008) sugere o seguinte tratamento:

- a) monitorar a fissura a fim de saber qual a amplitude da sua movimentação;
- b) definir se é necessário tratar essa fissura como uma junta móvel;
- c) selecionar um selante plástico e calcular o comprimento da junta móvel necessária para absorver as movimentações da fissura;
- d) com um cinzel, alargar a fissura até o comprimento calculado. Em seguida limpá-la e secá-la;
- e) preencher a fissura alargada com o material elástico.

Para as fissuras passivas, Lapa (2008) indica outro processo:

- a) Limpar e secar a fissura com jato de ar;
- b) Realizar furos ao longo das anomalias, espaçados de dez a trinta centímetros e ligeiramente mais profundos que a trinca;
- c) Introduzir tubos plásticos nos furos, com pontas salientes de 10 cm;
- d) Injetar uma resina epóxi nos tubos, cortar as pontas salientes e lixar o material excedente, limpando a superfície tratada.

As fissuras provenientes de corrosão de armadura são consideradas especiais, de acordo com Lapa (2008). O concreto deve ser removido e realizado o tratamento da corrosão da armadura.

#### **4.5.6 Infiltração de água**

O termo infiltração de água por si só explica o seu mecanismo. Essa anomalia, que está presente em quase 100% dos elementos da ponte, acontece devido a penetração da água no concreto, deixando na superfície manchas de umidade que se distinguem dos demais tipos de manchas. Lottermann (2013) afirma que essa manifestação é mais frequente em tempos chuvosos, devido à exposição

direta da estrutura à água. Apesar do processo não parecer danoso, a exposição contínua pode provocar umidade interna.

Uma possível causa é o acúmulo de água no tabuleiro da ponte, assim como nas eflorescências, acrescido de uma impermeabilização deficiente e um concreto muito poroso, que faz com que ela gere pressão e infiltre nas lajes e vigas principalmente.

No caso da ponte de Palmas-TO, um possível motivo detectado foi a posição dos drenos da pista. Esses drenos estão localizados em sua totalidade no lado direito da estrutura, e em alguns casos descarregam a água captada direto nos elementos, como mostra a figura 17 no item 4.2.2, fazendo com que ela escorra pela viga e, devido à continuidade, infiltre.

Essa manifestação pode gerar outros danos como: corrosão da armadura, bolor e eflorescência. Por isso, apesar de parecer comum, ela deve ser tratada de forma correta.

Em pesquisa realizada por Santos (2014), é indicado que a infiltração acontece em 33,33% dos casos estudados de degradação da estrutura. A autora relata que esse problema está associado principalmente a problemas de concepção arquitetônica e instalações, e falta ou deficiência de manutenção.

A falta de manutenção da ponte provavelmente agravou esse problema. Caso a correção da drenagem tivesse sido realizada assim que o problema se iniciou, não estaria no atual nível de degradação. Essa correção poderia ser feita com instalações que ligassem o dreno ao solo, sem que a água fosse despejada diretamente nos elementos.

Assim como nas outras anomalias, retirar a causa do problema patológico é essencial para que ele não volte a aparecer. Nesse caso, refazer a impermeabilização é um dos reparos mais simples, pois melhorar a qualidade do concreto e alterar a disposição dos drenos requereria maior custo e trabalho.

#### **4.5.7 Manchas de bolor**

As manchas de bolor estão presentes em sua grande maioria nas vigas longarinas extremas da ponte, VL1 e VL4, as quais ficam mais em contato com as intempéries e a vegetação.

Podem ser consideradas como agente causador da umidade as chuvas e a impermeabilização deficiente. Somado ao fato de que não há nenhum tipo de revestimento, o que deixa a estrutura muito mais vulnerável às agressões.

Outra causa considerada elencada por Verly (2015) é a deficiência nas drenagens das estruturas, assim como pode ser observado na ponte de Palmas. Elementos de captação de água mal localizados podem levar ao descarregamento de água diretamente sobre algum elemento da estrutura, colaborando para o surgimento de manchas.

A indicação de prevenção para esse tipo de problema é que os drenos descarreguem diretamente sobre a água ou terreno protegido contra a erosão, ou que desçam em prumadas instaladas próximas aos pilares.

A recuperação dessa anomalia é simples, realizada apenas com uma limpeza a base de hipoclorito com o auxílio de uma escova. Nos casos em que o bolor está intenso, é possível deixar a solução agir. Em ambas as situações, a solução deve ser removida com jato d'água (MIRANDA, 20--).

#### 4.6 MAPEAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Após a primeira visita à ponte, foi realizado um projeto em 3D de toda a estrutura. Nesse projeto foram inseridas todas as manifestações patológicas encontradas na ponte, mapeando e diferenciando-as pelas seguintes cores:

- a) amarelo: eflorescência;
- b) azul: manchas de bolor;
- c) laranja e vermelho: infiltrações em diferentes intensidades, sendo vermelho as mais graves;
- d) marrom: a junção de desagregação, deslocamento e sinais de esmagamento;
- e) preto: fissuras;
- f) roxo: corrosão.
- g) verde: falha de concretagem;
- h) vinho: a junção de cobertura deficiente e corrosão das armaduras;

O projeto está localizado no apêndice B, sendo inseridos todos os elementos estruturais. O intuito dele era tornar visível o estado da ponte e qual manifestação é predominante.

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho se iniciou com pesquisas bibliográficas a respeito das pontes de concreto armado no país, a fim de se obter algum padrão sobre as manifestações patológicas mais frequentes nesse tipo de estrutura. Pôde ser analisado que apesar das fissuras estarem presentes em praticamente todas as pontes utilizadas, sendo considerada a mais comum, não foi a anomalia mais encontrada na ponte de Palmas.

Além disso, essa pesquisa permitiu analisar a estrutura em pior estado entre elas, sendo a de Porto Nacional – TO a ponte mais deteriorada. Nela foram encontradas algumas anomalias semelhantes às de Palmas, como deslocamento e eflorescência, porém em estado mais avançado.

Neste trabalho a metodologia GDE/UnB foi aplicada a uma ponte localizada na principal Avenida da cidade de Palmas-TO, obtendo-se resultados sobre sua estrutura e seu grau de deterioração. Ao analisar os dados apresentados é perceptível que a ponte se encontra em estado grave, que torna perigoso o tráfego e coloca em risco a vida das pessoas que passam pelo local.

A aplicação da metodologia permitiu quantificar numericamente o estado de degradação da Obra de Arte Especial. A partir disso, foi possível identificar que a ponte apresenta valores de deterioração de 167,44. Isso significa que ela se encontra em estado crítico e precisa de intervenção imediata, a fim de restaurar a estrutura e devolver a ela o desempenho estabelecido em projeto.

Os resultados apresentam que aproximadamente 67% dos pilares da ponte estão em estado crítico, alguns apresentam níveis de deterioração avançados, como rompimento das armaduras e perda significativa de seção de concreto. No entanto, nenhuma viga ultrapassa o nível médio de deterioração, o que contrasta com o resultado anterior.

Também pode-se concluir que a água é um agente muito deletério às estruturas. Agrupando as manifestações patológicas causadas por ela, que são eflorescência (23,97%), infiltração (24,66%) e manchas de bolor (6,85%), têm-se mais de 50% do total das encontradas na OAE. E essas são as causas dos problemas que poderiam ser evitados, visto que uma boa impermeabilização e um programa de manutenção preventiva em dias preveniria que eles fossem tão severos.

Dentre as possíveis recuperações mais indicadas, pode-se citar o ajuste da impermeabilização para evitar a percolação da água pela estrutura e a recuperação das armaduras corroídas através da remoção do revestimento, limpeza e pintura das barras.

Ao final, foi possível através de pesquisas bibliográficas indicar outras possíveis causas para todas as anomalias encontradas, assim como possíveis reparos. É notória a necessidade de recuperação e reforço da estrutura, pois apenas assim ela deixaria de ser um perigo para toda a sociedade.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de assegurar o desempenho das estruturas, estudos sobre esse tema são sempre aceitos para acrescentar o conhecimento. Por isso, fica como sugestão para trabalhos futuros um diagnóstico mais aprofundado das anomalias encontradas na ponte, com a realização de ensaios complementares que permitam a confirmação das causas, como extração de corpos de prova para análise de resistência ou existência de cloretos.

Também podem ser realizados trabalhos com a utilização da metodologia GDE/UnB em outras pontes de Palmas-TO, a fim de comparar o estado em que se encontram as pontes da cidade.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Carmen. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1992.

ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Durabilidade das estruturas de concreto armado**: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco. 1997. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

ARAÚJO, Cleide Mecnas et al. O Parque Cesamar e a integridade ambiental do Córrego Brejo Comprido em Palmas-TO. **Interface**, Porto Nacional, v. 6, n. 6, p.49-61, maio 2013. Disponível em: <<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/interface/article/view/492>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BARBOSA, Guilherme Antônio; BASTOS, Camila; BARRETO, Maria Fernanda. Estudo de manifestações patológicas e vias em pontes e viadutos de concreto armado na cidade de Cuiabá-MT. In: EURO ELECS, 2, 2017, São Leopoldo. **Anais...** . São Leopoldo: Unisinos, 2017.

BEZERRA, Diego de Paiva et al. Avaliação patológica e proposta de restauração em estruturas de concreto armado: Estudo de caso de uma ponte o município de Pirpirituba-PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 5., 2018, Rio de Janeiro. **Anais...** . Rio de Janeiro: CBPE, 2018.

BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. 2002. 295 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

CARVALHO, Daniel Iglesias de et al. Análise das manifestações patológicas identificadas na ponte sobre o Rio Tocantins, Porto Nacional - TO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 9., 2016, Rio de Janeiro. **Anais...** . Palmas: Cbpe, 2016.

CASCUDO, Oswaldo. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**. 1 ed. São Paulo: Pini, 1997.

CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**. 1994. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1994.

DIÓGENES, Aldecira G. et al. Manifestações patológicas em pontes da cidade de Sobral-CE. In: CINPAR, 5., 2014, Santiago. **Anais...** . Sobral: 2014.

EUQUERES, Priscilla. **Metodologia de inspeção em estruturas de pontes de concreto armado**. 2011. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiânia, Goiânia, 2011.

EVANGELHO, Tiago Becker. **Consideração do esmagamento do concreto através do modelo de trincas sobrepostas**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

FONSECA, R. P. A. **Estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. 2007. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

GIL, A. C.. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIOVANENETTI, Ana Carolina; PINTO, Roberto C.. Avaliação da condição de uma ponte: Estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 7., 2014, Rio de Janeiro. **Anais...** . Santa Catarina: Cbpe, 2014.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. 2015. 157 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

HELENE, Paulo R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. 1 ed. São Paulo: Pini, 1986.

LANER, Felice José.. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre**. 2001. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEONHARDT, F.. **Construções de concreto - Volume 6 - Princípios Básicos da Construção de Pontes de Concreto**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

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

LOPES, B. A. R. **Sistema de manutenção predial para grades estoques de edifícios: estudo para inclusão de componente "estrutura de concreto"**. 1998. 308 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

LOTTERMANN, André Fonseca. **Patologia em estruturas de concreto: estudo de caso**. 2013. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

MARIA JUNIOR, Alberto Ferreira; GONÇALVES, Geciane da Silva. Estudo das manifestações patológicas na segunda ponte do Ribeiro de Abreu. **Pensar Engenharia**, Minas Gerais, v. 5, n. 2, jul. 2017.

MEDEIROS, M. H. F. de; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MEIRA, Gibson Rocha. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção**. 1. ed. João Pessoa: Ifbp, 2017.

MIRANDA, Pedro. **Aprenda a prevenir a aparição de mofo e bolor em quartos**. 20---. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/aprenda-a-prevenir-a-aparicao-de-mofo-e-bolor-em-quartos\\_18078\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/aprenda-a-prevenir-a-aparicao-de-mofo-e-bolor-em-quartos_18078_10_0)>. Acesso em: 15 out. 2019.

MOLIN, Denise Carpena Coitinho Dal. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. 1988. 220 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

MÜLLER, Ricardo. **Critérios para o planejamento e execução de recuperações estruturais em pontes e viadutos rodoviários no estado do Paraná**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

OLIVEIRA, Alexandre Magno de. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 96 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PFEIL, Walter. **Pontes em concreto armado**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

PINHO, Fernando Ottoboni; BELLEI, Ildony Hélio. **Pontes e viadutos em vigas mistas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Ibs/cbca, 2007.

RIBEIRO, Fábio. **Patologia das estruturas**. Palmas: 2019. 68 slides, color.

SANTOS, Bruno dos; SILVA, Jean Carlos da. **Patologia em pontes: estudo de caso em patologias da ponte Pedro Ivo Campos e orientação de reforma**. 2017. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017.

SANTOS, Camila Freitas dos. **Patologia de estruturas de concreto armado**. 2014. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SANTOS, Geovanna de Souza; DIAS, Michelly Luttiely Alves. **Análise de patologias em um viaduto situado na Avenida H – Setor Jardim Goiás – Goiânia**. 2018. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Goiás Uni-Anhanguera, Goiânia, 2018.

SARTORTI, Artur Lenz. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP**. 2008. 180 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

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

THOMAZ, Ercio. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1989.

TRINDADE, Diego dos Santos da. **Patologia em estruturas de concreto armado**. 2015. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

VASCONCELOS, Flávio de Oliveira. **Análise das manifestações patológicas em pontes de concreto armado – estudo de caso**. 2018. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas Campus do Sertão, Delmiro Gouveia, 2018.

VERLY, Rogério Calazans. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais**. 2015. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

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

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – Tabelas de aplicação da metodologia GDE/UnB

| <b>Grau de dano das anomalias</b> |                 |                       |           |           |          |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------|-----------|----------|
| <b>Familia</b>                    | <b>Elemento</b> | <b>Dano</b>           | <b>Fp</b> | <b>Fi</b> | <b>D</b> |
| Pilares                           | P1              | Cobrimento deficiente | 3         | 2         | 4,8      |
| Pilares                           | P1              | Corrosão de armaduras | 5         | 3         | 40       |
| Pilares                           | P1              | Desagregação          | 3         | 4         | 60       |
| Pilares                           | P1              | Desplacamento         | 3         | 3         | 24       |
| Pilares                           | P1              | Eflorescência         | 2         | 1         | 1,6      |
| Pilares                           | P1              | Sinais de esmagamento | 5         | 4         | 100      |
| Pilares                           | P2              | Cobrimento deficiente | 3         | 2         | 4,8      |
| Pilares                           | P2              | Corrosão de armaduras | 5         | 3         | 40       |
| Pilares                           | P2              | Desagregação          | 3         | 4         | 60       |
| Pilares                           | P2              | Desplacamento         | 3         | 3         | 24       |
| Pilares                           | P2              | Sinais de esmagamento | 5         | 4         | 100      |
| Pilares                           | P3              | Cobrimento deficiente | 3         | 3         | 24       |
| Pilares                           | P3              | Corrosão de armaduras | 5         | 4         | 100      |
| Pilares                           | P3              | Desagregação          | 3         | 3         | 24       |
| Pilares                           | P3              | Desplacamento         | 3         | 4         | 60       |
| Pilares                           | P3              | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Pilares                           | P3              | Fissuras              | 3         | 1         | 2,4      |
| Pilares                           | P3              | Sinais de esmagamento | 5         | 4         | 100      |
| Pilares                           | P4              | Corrosão de armaduras | 5         | 3         | 40       |
| Pilares                           | P4              | Desagregação          | 3         | 4         | 60       |
| Pilares                           | P4              | Desplacamento         | 3         | 4         | 60       |
| Pilares                           | P4              | Sinais de esmagamento | 5         | 4         | 100      |
| Pilares                           | P5              | Corrosão de armaduras | 5         | 3         | 40       |
| Pilares                           | P5              | Desagregação          | 3         | 4         | 60       |
| Pilares                           | P5              | Desplacamento         | 3         | 4         | 60       |
| Pilares                           | P5              | Sinais de esmagamento | 5         | 4         | 100      |
| Pilares                           | P6              | Cobrimento deficiente | 3         | 3         | 24       |
| Pilares                           | P6              | Corrosão de armaduras | 5         | 4         | 100      |
| Pilares                           | P6              | Desagregação          | 3         | 4         | 60       |
| Pilares                           | P6              | Desplacamento         | 3         | 4         | 60       |
| Pilares                           | P6              | Fissuras              | 5         | 2         | 8        |
| Pilares                           | P6              | Manchas               | 3         | 2         | 4,8      |
| Pilares                           | P6              | Sinais de esmagamento | 5         | 4         | 100      |
| Pilares                           | P8              | Desagregação          | 3         | 3         | 24       |
| Pilares                           | P8              | Desplacamento         | 3         | 3         | 24       |
| Pilares                           | P9              | Manchas               | 3         | 3         | 24       |
| Vigas                             | VL1             | Falhas de concretagem | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas                             | VL1             | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Vigas                             | VL1             | Fissuras              | 3         | 2         | 4,8      |
| Vigas                             | VL1             | Infiltração de água   | 3         | 2         | 4,8      |
| Vigas                             | VL1             | Manchas               | 3         | 3         | 24       |
| Vigas                             | VL2             | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Vigas                             | VL2             | Fissuras              | 3         | 1         | 2,4      |

| <b>Familia</b> | <b>Elemento</b> | <b>Dano</b>           | <b>Fp</b> | <b>Fi</b> | <b>D</b> |
|----------------|-----------------|-----------------------|-----------|-----------|----------|
| Vigas          | VL2             | Infiltração de água   | 3         | 2         | 4,8      |
| Vigas          | VL3             | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Vigas          | VL3             | Fissuras              | 3         | 1         | 2,4      |
| Vigas          | VL3             | Infiltração de água   | 3         | 2         | 4,8      |
| Vigas          | VL4             | Falhas de concretagem | 2         | 2         | 3,2      |
| Vigas          | VL4             | Eflorescência         | 2         | 3         | 16       |
| Vigas          | VL4             | Infiltração de água   | 3         | 2         | 4,8      |
| Vigas          | VL4             | Manchas               | 3         | 3         | 24       |
| Vigas          | VT1             | Eflorescência         | 2         | 3         | 16       |
| Vigas          | VT1             | Falhas de concretagem | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas          | VT1             | Infiltração de água   | 3         | 2         | 4,8      |
| Vigas          | VT1             | Manchas               | 3         | 2         | 4,8      |
| Vigas          | VT2             | Eflorescência         | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas          | VT2             | Falhas de concretagem | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas          | VT2             | Infiltração de água   | 3         | 2         | 4,8      |
| Vigas          | VT3             | Eflorescência         | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas          | VT3             | Falhas de concretagem | 2         | 2         | 3,2      |
| Vigas          | VT3             | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Vigas          | VT4             | Eflorescência         | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas          | VT4             | Falhas de concretagem | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas          | VT4             | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Vigas          | VT5             | Falhas de concretagem | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas          | VT5             | Infiltração de água   | 3         | 2         | 4,8      |
| Vigas          | VT6             | Eflorescência         | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas          | VT6             | Falhas de concretagem | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas          | VT6             | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Vigas          | VT7             | Eflorescência         | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas          | VT7             | Falhas de concretagem | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas          | VT7             | Infiltração de água   | 3         | 2         | 4,8      |
| Vigas          | VT8             | Falhas de concretagem | 2         | 1         | 1,6      |
| Vigas          | VT8             | Infiltração de água   | 3         | 2         | 4,8      |
| Vigas          | VT9             | Eflorescência         | 2         | 3         | 16       |
| Vigas          | VT9             | Falhas de concretagem | 2         | 3         | 16       |
| Vigas          | VT9             | Manchas               | 3         | 2         | 4,8      |
| Lajes          | L1              | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L1              | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L1              | Manchas               | 3         | 2         | 4,8      |
| Lajes          | L2              | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L2              | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L3              | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L3              | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L4              | Eflorescência         | 2         | 3         | 16       |
| Lajes          | L4              | Infiltração de água   | 3         | 2         | 4,8      |
| Lajes          | L5              | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L5              | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |

| <b>Familia</b> | <b>Elemento</b> | <b>Dano</b>           | <b>Fp</b> | <b>Fi</b> | <b>D</b> |
|----------------|-----------------|-----------------------|-----------|-----------|----------|
| Lajes          | L6              | Cobrimento deficiente | 3         | 2         | 4,8      |
| Lajes          | L6              | Corrosão de armaduras | 5         | 1         | 4        |
| Lajes          | L6              | Eflorescência         | 2         | 3         | 16       |
| Lajes          | L6              | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L7              | Eflorescência         | 2         | 3         | 16       |
| Lajes          | L7              | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L8              | Eflorescência         | 2         | 3         | 16       |
| Lajes          | L8              | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L9              | Eflorescência         | 2         | 3         | 16       |
| Lajes          | L9              | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L10             | Eflorescência         | 2         | 3         | 16       |
| Lajes          | L10             | Fissuras              | 3         | 2         | 4,8      |
| Lajes          | L10             | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L11             | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L11             | Fissuras              | 3         | 2         | 4,8      |
| Lajes          | L11             | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L12             | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L12             | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L13             | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L13             | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L14             | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L14             | Infiltração de água   | 3         | 4         | 60       |
| Lajes          | L15             | Eflorescência         | 2         | 1         | 1,6      |
| Lajes          | L15             | Infiltração de água   | 3         | 4         | 60       |
| Lajes          | L16             | Cobrimento deficiente | 3         | 2         | 4,8      |
| Lajes          | L16             | Corrosão de armaduras | 5         | 2         | 8        |
| Lajes          | L16             | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L16             | Infiltração de água   | 3         | 4         | 60       |
| Lajes          | L17             | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L17             | Infiltração de água   | 3         | 4         | 60       |
| Lajes          | L18             | Cobrimento deficiente | 3         | 2         | 4,8      |
| Lajes          | L18             | Corrosão de armaduras | 5         | 2         | 8        |
| Lajes          | L18             | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L18             | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L19             | Eflorescência         | 2         | 3         | 16       |
| Lajes          | L19             | Fissuras              | 3         | 2         | 4,8      |
| Lajes          | L19             | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L20             | Cobrimento deficiente | 3         | 2         | 4,8      |
| Lajes          | L20             | Corrosão de armaduras | 5         | 2         | 8        |
| Lajes          | L20             | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L20             | Fissuras              | 3         | 1         | 2,4      |
| Lajes          | L20             | Infiltração de água   | 3         | 2         | 4,8      |
| Lajes          | L21             | Eflorescência         | 2         | 2         | 3,2      |
| Lajes          | L21             | Infiltração de água   | 3         | 3         | 24       |
| Lajes          | L22             | Infiltração de água   | 3         | 4         | 60       |

| <b>Familia</b>     | <b>Elemento</b> | <b>Dano</b>             | <b>Fp</b> | <b>Fi</b> | <b>D</b> |
|--------------------|-----------------|-------------------------|-----------|-----------|----------|
| Lajes              | L23             | Infiltração de água     | 3         | 4         | 60       |
| Lajes              | L24             | Infiltração de água     | 3         | 4         | 60       |
| Guarda-corpo       | GC              | Eflorescência           | 2         | 2         | 3,2      |
| Guarda-corpo       | GC              | Manchas                 | 3         | 3         | 24       |
| Guarda-rodas       | GR1             | Corrosão de armaduras   | 5         | 1         | 4        |
| Guarda-rodas       | GR1             | Desagregação            | 3         | 3         | 24       |
| Guarda-rodas       | GR1             | Fissuras                | 2         | 1         | 1,6      |
| Guarda-rodas       | GR1             | Manchas                 | 3         | 4         | 60       |
| Guarda-rodas       | GR2             | Falhas de concretagem   | 2         | 1         | 1,6      |
| Guarda-rodas       | GR2             | Fissuras                | 2         | 1         | 1,6      |
| Guarda-rodas       | GR2             | Manchas                 | 3         | 4         | 60       |
| Pista de rolamento | PR1             | Desgaste superficial    | 5         | 3         | 40       |
| Pista de rolamento | PR1             | Desgaste da sinalização | 5         | 3         | 40       |

