



# **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

Dayelle Elias Amaral

AVALIAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE  
FERNANDO HENRIQUE CARDOSO APLICANDO A METODOLOGIA GDE/UNB

Palmas – TO

2019

Dayelle Elias Amaral

AVALIAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE  
FERNANDO HENRIQUE CARDOSO APLICANDO A METODOLOGIA GDE/UNB

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. Me. Daniel Iglesias de Carvalho

Palmas – TO

2019

Dayelle Elias Amaral

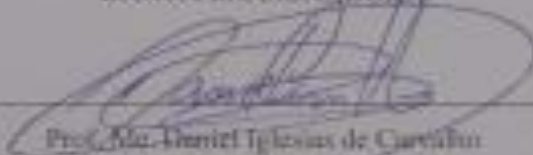
AVALIAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE  
FERNANDO HENRIQUE CARDOSO APLICANDO A METODOLOGIA GDE/UNB

Tribunal de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e  
apresentado como requisito parcial para obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil pelo Centro  
Universitário Lutero de Palmas (CELULOPRA)

Orientador: Prof. Me. Daniel Iglesias de Carvalho

Aprovado em: 23 / 05 / 2019

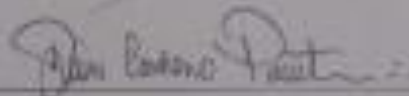
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Daniel Iglesias de Carvalho

Orientador

Centro Universitário Lutero de Palmas - CELULP



Prof. Me. Denis Cardoso Parente

Avaliador 1

Centro Universitário Lutero de Palmas - CELULP



Prof. Me. Edvaldo Alves Santos

Avaliador 2

Centro Universitário Lutero de Palmas - CELULP

Palmas - TO

2019

*Dedico este trabalho ao meu filho, Eli Rosa Amaral, grande incentivador. Luz da minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por direcionar meus passos e por me manter até aqui. Sua vida em mim me fez querer um mundo melhor e me encorajou a transformar realidade também por meio da profissão escolhida.

A minha mãe, Diva Rodrigues Amaral Sousa, pelas orações diárias, por ter investido na minha educação e valores desde o princípio até hoje.

Aos meus irmãos de fé e familiares que me apoiaram nessa jornada, por todo o crédito, motivação dados a mim e por me apoiarem em oração.

A meu orientador, Daniel Iglesias de Carvalho, por se oferecer a me orientar e a dedicação na construção dessa monografia e de todos os outros projetos desenvolvidos ao percorrer da faculdade, pela contribuição na minha formação e seu exemplo como profissional.

Ao meu esposo, Esdras Araújo Rosa de Moraes, pelo incentivo nos momentos difíceis, pelas orações na madrugada, por suas palavras quando pensei em desistir, por cuidar tão bem do nosso filho quando precisei estudar. Sem você não conseguiria.

Ao meu filho, Eli Rosa Amaral, por me fazer descobrir o verdadeiro amor, me tornar uma pessoa melhor e despertar em mim dons e qualidades que eu não imaginava ter. Meu maior incentivo.

A vocês, a minha gratidão.

*“Aquele que é capaz de fazer infinitamente mais do que tudo o que pedimos ou pensamos, de acordo com o seu poder que atua em nós, a ele seja a glória na igreja e em Cristo Jesus, portodas as gerações, para todo o sempre! Amém!”*

ELIAS AMARAL, Dayelle. **Avaliação do grau de deterioração estrutural da Ponte Fernando Henrique Cardoso aplicando a metodologia GDE/UnB**. 2019. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil), Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2019

## RESUMO

Este estudo propõe a avaliação dos elementos estruturais, da Ponte Fernando Henrique Cardoso, situada na cidade de Palmas/TO. Com o intuito da verificação do grau de risco estrutural, avaliando a deterioração dos elementos isolados e da estrutura como um todo, baseou-se na Metodologia GDE/UnB. O grau de risco é indicado por meio de uma nota técnica associada a respectiva condição de estabilidade de cada obra, obtida dos critérios de pontuação adotados pela metodologia.

Foram realizadas inspeções visuais na ponte em estudo e os dados coletados foram utilizados para a avaliação das estruturas pela metodologia estudada. Os resultados obtidos foram analisados e a formulação da metodologia GDE/UnB foi alterada para um melhor ajuste à aplicação em um sistema de gestão de OAEs. Posteriormente, analisou-se a incidência dos diferentes danos nas estruturas inspecionadas, sendo os mais encontrados, fissuras, desagregações, umidades e manchas. Assim como, os elementos que necessitam de intervenção prioritárias: pilares (P16) e juntas de dilatação (J16 e J18).

Resultando no grau sofrível de deterioração da ponte Fernando Henrique Cardoso, se faz necessário inspeção especializada rigorosa e em curto prazo, de no máximo 6 meses.

Palavras-Chaves: Manutenções. Deterioração. Manifestação Patológica. Ponte.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Conceituação de vida útil de estruturas de concreto armado .....                             | 17 |
| Figura 2 – Representação do desenvolvimento financeiro em relação à fase da vida da estrutura.....      | 20 |
| Figura 3 - Fluxograma para aplicação da metodologia GDE/UnB.....  | 22 |
| Figura 4 – Exemplar de registro de inspeção para pilares.....   | 23 |
| Figura 5 - Valores de $F_p$ sugeridos baseados na tipologia das fissuras.....                           | 24 |
| Figura 6 – Exemplos de fatores de intensidade ( $F_i$ ) recomendado.....                                | 25 |
| Figura 7 - Grau do dano (D) x Fator de intensidade ( $F_i$ ) para valores de $F_p$ variando de 1 a 5... | 26 |
| Figura 8 - Ponte Fernando Henrique Cardoso.....   | 29 |
| Figura 9 - Pista de rolamento com aparente desgaste superficial e de sinalização.....                   | 32 |
| Figura 10 – Fissuras mapeadas presentes em toda a extensão das barreiras <i>New Jersey</i> .....        | 33 |
| Figura 11 – Falha de concretagem no encontro das peças pré moldada.....                                 | 34 |
| Figura 12 – Vegetação interrompendo a passagem de água pluvial.....                                     | 34 |
| Figura 13 – Falha de concretagem no encontro das peças pré moldadas .....                               | 35 |
| Figura 14 – Juntas de dilatação cobertas por material de revestimento da pista de rolamento.            | 36 |
| Figura 15 – Juntas de dilatação desgastadas e com presença de vegetação.....                            | 36 |
| Figura 16 – Juntas de dilatação com material degradado.....   | 37 |
| Figura 17 – Juntas de dilatação em boas condições.....  | 37 |
| Figura 18 – Início das manifestações de eflorescência.....  | 38 |
| Figura 19 – Fissuras menores que 0,2 mm de abertura.....  | 39 |
| Figura 20 – Mancha na parte inferior do pilar.....  | 39 |
| Figura 21 – Desplacamento com exposição de armadura no pilar 13-B.....                                  | 40 |
| Figura 22 – Ninho de concretagem com exposição da armadura no Pilar 5-B.....                            | 41 |



## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Relação entre agressividade ambiental e durabilidade.....   | 16 |
| Tabela 2 – Tipos de Inspeções em OAE's.....  | 18 |
| Tabela 3 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento e recomendações em função do valor de Gde..... | 27 |
| Tabela 4 – Fatores de relevância estrutural para OAE's.....  | 28 |
| Tabela 5 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura e recomendações em função do valor de Gd..... | 28 |
| Tabela 6 – Quadro de manifestações patológicas avaliadas na ponte e seu número de incidências.....             | 41 |
| Tabela 7 – Graus de deterioração de cada elemento e seus respectivos níveis de deterioração.....               | 43 |
| Tabela 8 – Grau de deterioração de família de elementos e seus fatores de relevância estrutural.....           | 45 |

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

|                 |  |
|-----------------|--|
| CO <sub>2</sub> | Dióxido de Carbono   |
| D               | Grau de Dano   |
| DNIT            | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes     |
| Fi              | Fatores de Intensidade de um Dano                          |
| Fp              | Fatores de Ponderação do Dano                              |
| Fr              | Fator de Relevância Estrutural                             |
| GDE e Gd        | Grau de Deterioração da Estrutura                          |
| $G_{de}$        | Grau de Deterioração do Elemento                           |
| $G_{df}$        | Grau de Deterioração de uma Família de Elemento            |
| ICC             | Instituto Central de Ciências                              |
| OAE             | Obras de Artes Especiais                                   |
| PECC            | Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil |
| SGO             | Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais       |
| TO              | Tocantins  |
| UnB             | Universidade de Brasília                                   |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|                |    |
|----------------|----|
| Equação 1..... | 25 |
| Equação 2..... | 25 |
| Equação 3..... | 26 |
| Equação 4..... | 27 |
| Equação 5..... | 28 |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>14</b> |
| 1.1      | PROBLEMA.....   | 14        |
| 1.2      | OBEJTIVOS .....   | 15        |
| 1.2.1    | Objetivo Geral .....  | 15        |
| 1.2.2    | Objetivos Específicos .....   | 15        |
| 1.3      | JUSTIFICATIVA .....   | 15        |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....  | <b>16</b> |
| 2.1      | CONCEITO DE PONTE E OBRA DE ARTE ESPECIAIS .....  | 16        |
| 2.2      | DURABILIDADE E VIDA ÚTIL.....   | 16        |
| 2.3      | CONSIDERAÇÕES SOBRE INSPEÇÕES VISUAIS .....   | 17        |
| 2.4      | FATORES DE DETERIORAÇÃO COM ÊNFASE EM MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE PONTES .....         | 18        |
| 2.5      | MANUTENÇÕES PREVENTIVAS E CORRETIVAS .....  | 19        |
| 2.6      | METODOLOGIA GDE/UNB .....   | 20        |
| 2.6.1    | Origem e Fluxograma de Atividades .....   | 20        |
| 2.6.2    | Definições dos Parâmetros e Fórmulas .....  | 23        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA</b> .....  | <b>29</b> |
| 3.1      | CARACTERIZAÇÃO DA PONTE ESCOLHIDA.....  | 29        |
| 3.2      | PROCEDIMENTOS PARA INSPEÇÃO.....  | 29        |
| 3.3      | CONSIDERAÇÕES E ALTERAÇÕES DA METODOLOGIA.....  | 30        |
| 3.4      | ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....                               | 30        |
| 3.5      | DETERMINAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS (GD) PELA METODOLOGIA GDE/UNB ..... | 31        |
| 3.6      | RECOMENDAÇÕES DOS ELEMENTOS PRIORITÁRIOS DE INTERVENÇÃO .....                           | 31        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....  | <b>32</b> |
| 4.1      | SITUAÇÃO DOS DANOS NOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....                                       | 32        |
| 4.1.1    | Pista de rolamento .....  | 32        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.1.2    | Barreiras <i>New Jersey</i> .....   | 33        |
| 4.1.3    | Passeio Lateral.....  | 35        |
| 4.1.4    | Juntas de Dilatação.....  | 35        |
| 4.1.5    | Pilares.....  | 38        |
| 4.2      | ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....   | 41        |
| 4.3      | DETERMINAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS (GD)<br>PELA METODOLOGIA GDE/UNB .....                          | 42        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>  | <b>47</b> |
| <b>6</b> | <b>SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>   | <b>48</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO .....</b>  | <b>49</b> |
|          | <b>APÊNDICES .....</b>  | <b>52</b> |
|          | APÊNDICE A - Listagem dos elementos, danos e respectivos valores de Fp, Fi e D. ....                                | 53        |
|          | <b>ANEXOS .....</b>   | <b>61</b> |
|          | ANEXO A – Corte Longitudinal da Ponte Fernando Henrique Cardoso .....   | 62        |
|          | ANEXO B – Localização dos Pilares da Ponte Fernando Henrique Cardoso conforme corte<br>Longitudinal do Anexo A..... | 63        |
|          | ANEXO C – Quadro de Classificação dos Danos e Fatores de Intensidade (Fi) .....                                     | 64        |
|          | ANEXO D – Quadros de Famílias de Elementos Estruturais e Fatores de Ponderação (Fp).....                            | 67        |
|          | ANEXO E - Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de<br>ponderação indicados (Fp) ..... | 69        |

## 1 INTRODUÇÃO

As Obras de Artes Especiais (OAE's) em estruturas de concreto armado, apresentam boa resistência, durabilidade e versatilidade. Porém, são passíveis de degradação devido ao desenvolvimento de manifestações patológicas, implicando em alterações nas suas propriedades e desempenho. Para alcançar o tempo de vida útil esperado, é de suma importância que sejam realizadas manutenções preventivas e corretivas, quando detectado algum dano.

Como os recursos financeiros e técnicos são sempre limitados, definir a sequência de obras a sofrer intervenções, com base não só no seu estado atual como também no ágil desenvolvimento da deterioração é imprescindível para o correto emprego desses recursos. Por isso, a proposição de um sistema de gerenciamento tem como finalidade determinar as intervenções adequadas nos prazos corretos.

Esses sistemas podem ser mais simples, compostos apenas por um banco de dados, ou mais completos, que utilizam modelos de deterioração para analisar o quadro da futura estrutura e determinar a melhor possibilidade de alocação de recursos. (VERLY, 2015 *apud* AASHTO, 2013; SMITH e SILVA FILHO, 1999). Dentre os dados que alimentam os sistemas de gestão de OAEs, estão as informações oriundas de inspeções rotineiras, realizadas consoantes a diferentes metodologias.

Conforme a NBR 9452/2016, que se refere a Inspeções de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimentos, a partir da inspeção rotineira realizada de forma visual é possível obter um panorama geral da situação da estrutura e progresso das manifestações patológicas visualizadas em inspeções anteriores, bem como possuem o melhor custo/informação (CEB-FIB, 2002). Possui prazo de um ano ou quinze meses, proporcionando a sua realização em fases distintas do ano.

Em vista disso, esta pesquisa tem como intuito categorizar as manifestações patológicas e avaliar o seu desenvolvimento possibilitando calcular o grau de deterioração da estrutura e dos seus elementos de forma isolada, bem como sugerir intervenções para a obtenção da vida útil prevista baseada no sistema de gestão, conhecido como Grau de Deterioração da Estrutura (GDE) desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC/UnB).

### 1.1 PROBLEMA

Qual a situação de degradação da Ponte Fernando Henrique Cardoso?

## 1.2 OBEJTIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

- Obter o grau de deterioração da Ponte Fernando Henrique Cardoso, empregando a metodologia GDE/UnB.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Efetuar a inspeção visual a ponte Fernando Henrique pela metodologia GDE/UNB;
- Determinar o grau de deterioração dos elementos e das famílias;
- Mostrar as principais manifestações patológicas encontradas;
- Definir os elementos prioritários de intervenção segundo os resultados alcançados.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A ponte Fernando Henrique Cardoso é a ligação mais rápida entre a cidade de Palmas ao distrito de Luzimangues, no município de Porto Nacional, além da cidade vizinha de Paraíso do Tocantins. Esta rodovia, é um elemento fundamental para o transporte de cargas e mobilidade urbana entre as cidades citadas.

Devido à importância e aparente deterioração da ponte em estudo, esta pesquisa se justifica por apresentar grande relevância social, pois inspeções realizadas em intervalos adequados garantem aos usuários da estrutura maior comodidade e proteção, visto que direcionam medidas preventivas e corretivas de menor porte, evitando as interdições e ruínas.

Para o meio técnico, este trabalho fornece parâmetros para contribuição a revisão dos textos normativos existentes, fornecimento de dados de campo para completar a metodologia de Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais (SGO/DNIT) utilizada atualmente, para obtenção de informações para o projeto de alargamento, reforço ou readequação de pontes existentes entre outros.

A metodologia GDE/UnB fornece como resultado valores mais abrangentes do que a metodologia SGO/DNIT. Ressaltando os elementos e famílias mais deteriorados a fim de facilitar a alocação racional dos recursos disponíveis para o manutenção consoante a urgência de intervenção. Em vista disso, tem a justificativa econômica com a redução de custos, pois, o valor que se gasta com manutenção é relativamente pequeno em relação ao gasto com recuperação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONCEITO DE PONTE E OBRA DE ARTE ESPECIAIS

A Norma Brasileira NBR 9452:2016 Obra de Arte Especial (OAE) como as estruturas classificadas como ponte, pontilhão, viaduto ou passarela.

Ponte é uma obra destinada a transposição de obstáculos (rios, braços de mar, vales, etc) a fim de permitir a continuidade de uma via. Segundo, Marchetti (2008), os elementos da ponte são compostos por:

- Superestrutura: recebe as cargas provenientes do tráfego, constituída de vigas e lajes;
- Mesoestrutura: tem como função, levar as cargas da superestrutura para a infraestrutura, seus elementos constituintes são, pilares, travessas e encontros;
- Infraestrutura: elementos que se apoiam no terreno, transferindo-os carregamentos derivados da superestrutura e mesoestrutura.

### 2.2 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL

Conforme Medeiros, Andrade e Helene (2011), a durabilidade do concreto armado está relacionada aos materiais utilizados e a agressividade ambiental, onde avalia-se as propriedades do concreto ao transportar líquidos e gases do meio ambiente para o seu interior. Quanto menor a quantidade de substâncias carregadas, maior será a durabilidade do concreto.

Tabela 1 – Correspondência entre agressividade do ambiente e durabilidade do concreto

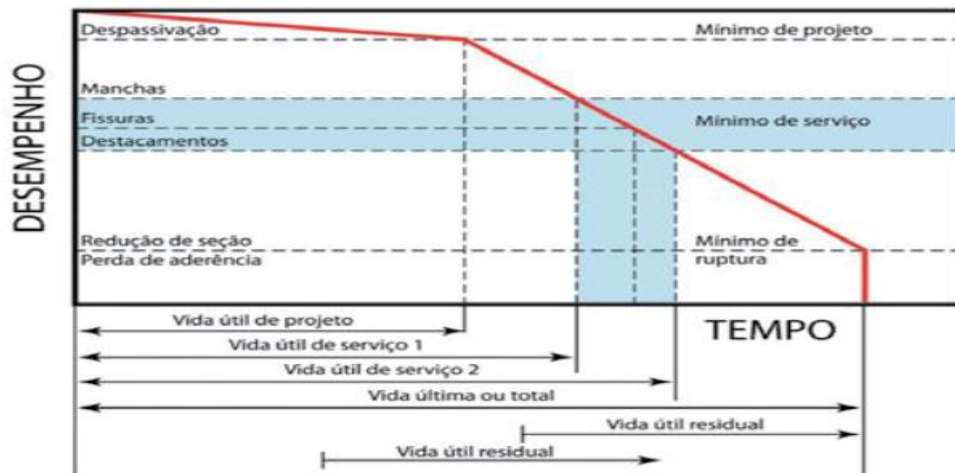
| Classe de agressividade | Concreto Recomendável                  |
|-------------------------|--|
| I (Fraca)               | Efêmero, normal, resistente ou durável |
| II (Moderada)           | Normal, resistente ou durável          |
| III (Forte)             | Resistente ou durável                  |
| IV (Muito Forte)        | Durável                                |

Fonte: Medeiros, Andrade e Helene (2011).

Vida útil é o período no qual a estrutura cumpre os requisitos técnicos especificados. Na Figura 1, observa-se o modelo conceitual de vida útil no concreto contemplando a ocorrência da corrosão de armaduras por ser o mais frequente instrumento de deterioração. (HELENE, 2011, p.9 apud TUTTI, 1982).



Figura 1 – Conceituação de vida útil da estrutura de concreto armado



Fonte: Helene (2011).

a) Vida útil de projeto: Fase que vai até a depassivação da armadura, adotado no projeto da estrutura, a favor da segurança;

b) Vida útil de serviço ou de utilização: Fase entre a finalização da construção e a eclosão de manifestações patológicas inadmissíveis;

c) Vida útil última ou total: Fase no qual os patamares de segurança são afetados, que vai até a ruptura ou colapso parcial da estrutura. Por exemplo, quando há uma redução significativa da seção resistente da armadura;

d) Vida útil residual: Fase em que a estrutura ainda será capaz de desempenhar suas funções, contado entre o início e o final da vida útil de utilização.

Em obras de arte é recomendável adotar-se vida útil de projeto períodos de 50, 75 ou até mais de 100 anos conforme recomendado pela norma inglesa BS 754318 e europeias, CEN / EN 20.

### 2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE INSPEÇÕES VISUAIS

A norma que versa sobre o assunto é a NBR 9452/2016, que trata de Inspeções de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimentos, onde determina como as coletas de dados são importantes para diagnóstico da estrutura.

As inspeções são classificadas em tipos: cadastral, rotineira, especial, intermediária e extraordinária, as duas últimas inclusas pelo DNIT (2004c), todas são discriminadas na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Tipos de Inspeções em OAE's

| Tipo         | Descrição   | Periodicidade |
|--------------|---|---------------|
| Rotina       | Observação visual da parte emersa da ponte, sobretudo para avaliar o seu estado de manutenção.  | 12 a 15 meses |
| Principais   | Observação da estrutura emersa e imersa se possível com meios de acesso que permitam fazer a observação a uma distância ao toque de todos os componentes da ponte e possibilitem a caracterização das anomalias.  | 3 a 6 anos    |
| Especiais    | Devem ser previstas na sequência de situações acidentais (ex: sismo, cheia, impacto, etc.) ou quando necessário para esclarecimento de eventuais dúvidas (ex: extracaro de corpos de prova). Pode englobar a realização de ensaios não destrutivos sobre a estrutura e de estudos de caracterização estrutural. |               |
| Particulares | Em zonas particulares como partes submersas (com batimetria e por exemplo coleta de imagens de Sonar), aparelhos de apoio, etc.   |               |
| Detalhadas   | No âmbito de projetos de intervenções.  |               |

Fonte: Adaptado de ALMEIDA (2013).

A inspeção visual, quando alcançada por profissional qualificado é o método de melhor relação custo/informação, onde 80% das informações necessárias são obtidas com 20% dos gastos de inspeção. Os 80% restantes do recurso podem ser usados quando uma manifestação patológica altera a sua função estrutural, por conseguinte nas cargas influentes. (CEB – FIB, 2002). Geralmente, essa inspeção têm periodicidade de um ano ou 15 meses, o que propicia a sua realização em diferentes períodos do ano.

#### 2.4 FATORES DE DETERIORAÇÃO COM ÊNFASE EM MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE PONTES

As causas de deterioração das pontes de concreto armado por RILEM (1991) *apud* DNIT IPR 744 (2010), podem ser classificadas em:

- Fatores intrínsecos – relacionados a qualidade das estruturas;
- Fatores resultantes do tráfego rodoviário – resultantes da solicitação dinâmica da estrutura provenientes do carregamento do tráfego (trem-tipo);
- Fatores ambientais – referentes às condições climáticas e atmosféricas;
- Fatores devido as formas e quantidades de manutenções – falta de limpeza, manutenção das peças, medidas de proteção;
- Fatores devido às atividades humanas.

Baseado no manual do DNIT IPR 744 (2010) os danos mais habituais em pontes, resumidamente, são:

- Carbonatação: reação do dióxido de carbono com o hidróxido de cálcio e outros componentes alcalinos da pasta de cimento;
- Corrosão: degradação do concreto ou do aço, causada em meio à presença de umidade (água) e oxigênio;
- Desgaste superficial: acontece pela perda progressiva de massa de uma superfície de concreto, causada devido a abrasão, erosão ou cavitação;
- Desagregação: podem ocorrer por atuações biológicas (raízes e micro-organismos), agentes agressivos (abrasão, vento, chuva, etc.), dosagem inexata e falha execução do concreto, ambos iniciam na superfície de concreto com uma mudança de coloração;
- Eflorescência: reação dos materiais da lixiviação com o dióxido de carbono exposto no ar, ocorrem na superfície do concreto e se manifestam através de crostas brancas de carbonato de cálcio;
- Manchas: são manifestadas nas superfícies do concreto em consequência da proliferação por fungos, mofo, etc., principalmente nas partes expostas da estrutura;
- Ninhos ou falhas de concretagem: são vazios no concreto, pertinente a uma concretagem defeituosa, quando a argamassa não preenche os espaços entre o agregado graúdo;
- Trincas e fissuras: são pequenas aberturas com diferentes comprimentos apresentando diversos tipos e diferentes causas, dependendo da estrutura.

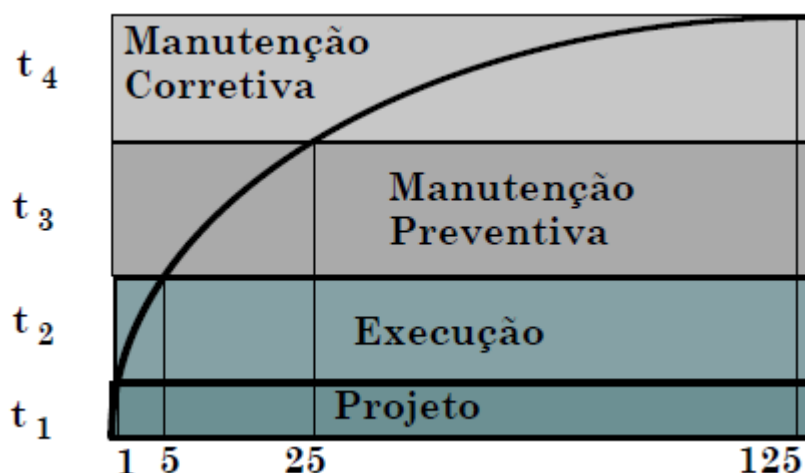
## 2.5 MANUTENÇÕES PREVENTIVAS E CORRETIVAS

Conforme, Mendes (2014) as manutenções são serviços realizados para prevenir ou corrigir a queda de desempenho. Dividem-se em:

- Rotineira: fluxo constante de serviços simples e padronizados;
- Planejada: marcado antecipadamente para estimativas de durabilidade de componentes ou relatórios de inspeção periódica sobre o estado de deterioração;
- Não-Planejada: serviços não previstos, como emergências ou prevenção de riscos graves e prejuízos pessoais e patrimoniais aos usuários ou proprietários.

Destacar-se, que em relação aos aspectos econômicos as manutenções preventivas são mais baratas quando comparadas as medidas corretivas tomadas a posterior. Segundo, Helene (2011) a evolução desse custo pode ser assimilada ao de uma progressão geométrica de razão 5, conhecida por lei dos 5 ou regra de Sitter, representada na Figura 2.

Figura 2 – Representação da evolução dos custos em função da fase da vida da estrutura



Fonte: Sitter (1983).

O significado dessa “lei” pode ser assim exposto, segundo as medidas seja na:

- a) fase de projeto: aumento a proteção e a durabilidade da estrutura, requerem num custo que pode ser associado ao número 1 (um);
- b) fase de execução: toda medida tomada nesta etapa acarreta num custo 5 (cinco) vezes superior ao custo inicial;
- c) fase de manutenção preventiva: as operações isoladas de manutenção necessárias ao período da sua vida útil, podem custar até 25 vezes mais que se fossem tomadas na fase de projeto. Contudo, podem ser cinco vezes mais econômicas que a sua correção;
- d) fase de manutenção corretiva: associam-se um custo 125 vezes superior ao custo das medidas que poderiam e deveriam ter sido tomadas na fase de projeto.

## 2.6 METODOLOGIA GDE/UNB

### 2.6.1 Origem e Fluxograma de Atividades

A metodologia GDE/UnB baseia-se na análise de dados coletados ao longo das inspeções visuais realizadas em campo que avaliam as manifestações patológicas nas estruturas e as classificam baseados no seu progresso e influência da família na estrutura. Onde por fim, sugere limites de prazo para que, quando necessário, sejam realizadas a manutenção preventiva ou corretiva na construção.

Baseada em estudos de Klein et al (1991), Castro (1994) elaborou e utilizou um documento denominado *Caderno de Inspeções* visando facilitar as inspeções visuais, em dois

edifícios de ocupações dissemelhantes. Porém, ressaltou a necessidade de mais aplicações para ajustar os parâmetros empregados na metodologia.

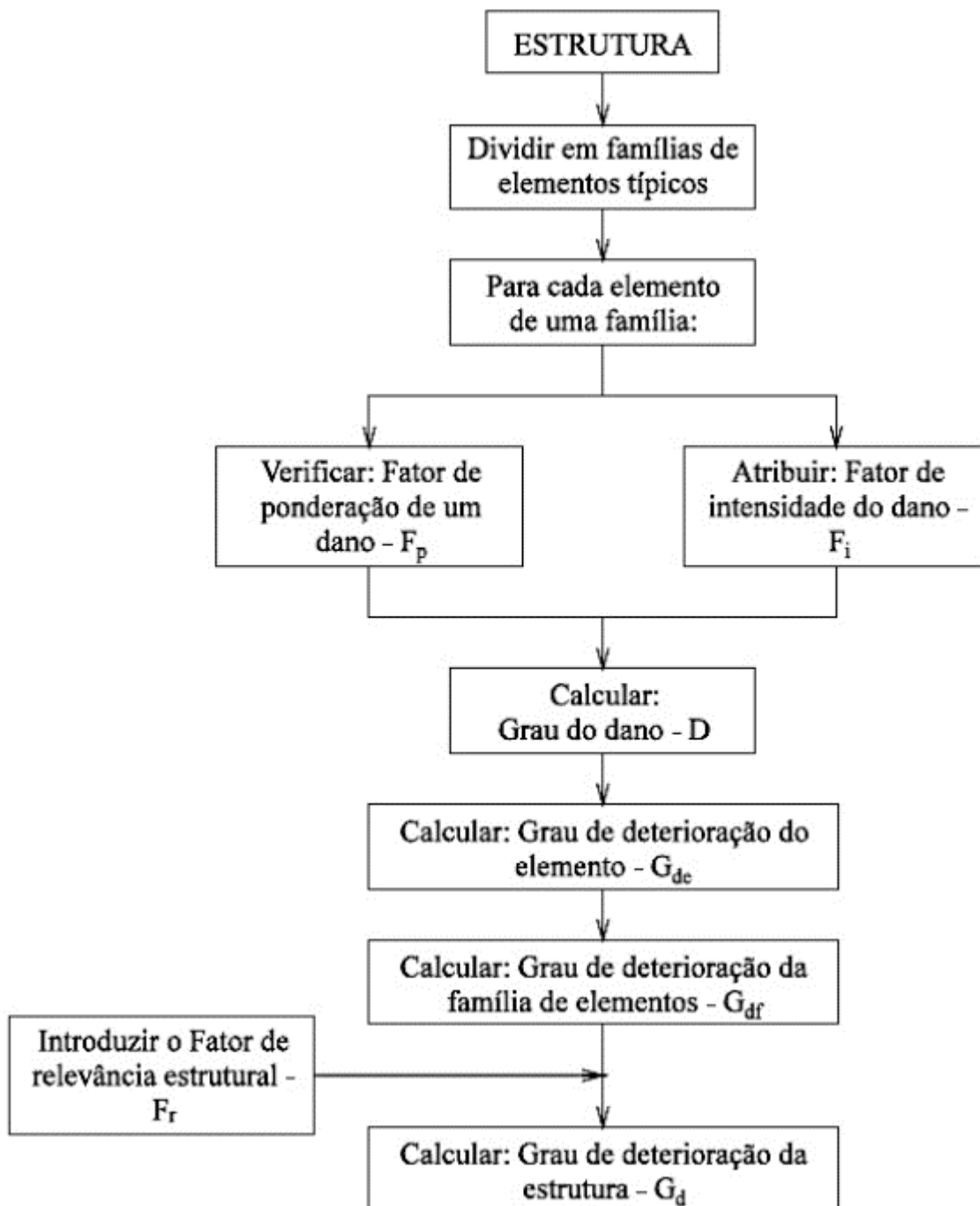
Posteriormente, foi aplicada em seis edificações comerciais do Banco do Brasil por Lopes (1998), e em quarenta edificações do Exército Brasileiro em diversas ocupações por Boldo (2002), que revisou e alterou a denominação do documento para *Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto*.

Em 2007, foi aplicada em todo o Instituto Central de Ciências da UnB – ICC por Fonseca que reformulou o roteiro de inspeção, os cálculos e nos tipos de danos mais corriqueiros. Como referência dos estudos de Fonseca, Euqueres (2011) aplicou a onze pontes escolhidas de forma aleatória em Goiás, sobretudo com as necessárias adequações das famílias de elementos devido as particularidades das estruturas de pontes no que concerne a às estruturas de edificações. A nova documentação foi denominada de *Roteiro de Inspeções para Estruturas e Pontes de Concreto Armado*

A última adaptação desta metodologia até agora executada e publicada foi realizada pela pesquisa de Verly (2015) em vinte e duas OAEs situadas no Distrito Federal. Em específico, apresentou adaptações à formulação do grau de deterioração da estrutura (Gd) e criou o que denominou *Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais*.

Esta pesquisa basear-se-á, principalmente, nos trabalhos propostos por Euqueres (2011) e Verly (2015), por serem adaptações recentes e avaliações de pontes e viadutos em suas dissertações, respectivamente, estruturas semelhantes à que será analisada nesta pesquisa. De maneira simplificada o fluxograma da figura 3 ilustra as etapas da metodologia GDE/UnB.

Figura 3 - Fluxograma para aplicação da metodologia GDE/UnB



Fonte: Adaptada de Castro (1994).

### 2.6.2 Definições dos Parâmetros e Fórmulas

Primeiramente, divide-se toda estrutura em famílias conforme suas características e funções estruturais no conjunto. Por exemplo, seriam as transversinas portantes, que sustenta o carregamento permanente de uma laje e distribuem transversalmente os esforços e as transversinas de ligação que agem apenas na distribuição transversal de esforços.

Caso ocorra uma degradação total dos dois elementos citados acima, causaria consequências dissemelhantes na estabilidade da estrutura, por isso é de suma importância que sejam estudadas em famílias distintas. Euqueres (2011) sugere que as famílias sejam divididas em: barreiras de defesas e/ ou guarda-rodas, pista de rolamento, cortinas, juntas de dilatação, lajes, fundações, aparelhos de apoio, vigas principais e secundárias e pilares.

Logo após, atribui valores para os Fatores de ponderação do dano ( $F_p$ ), onde variam de 1 a 5, de acordo com fatores como a segurança, funcionalidade e estética do elemento estrutural (VERLY, 2015). Isso significa que uma mesma manifestação patológica pode apresentar fatores de ponderações diferentes em cada família. Os valores de  $F_p$  são preenchidos previamente à inspeção da estrutura, conforme na Figura 4.

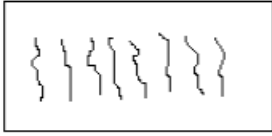
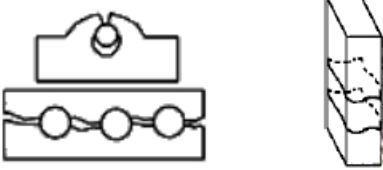
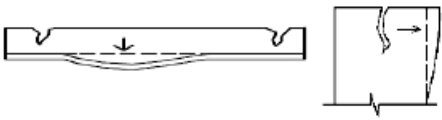
Figura 4 – Modelo de ficha de inspeção para pilares

| Nome do elemento →        |         |       |     |                     |
|---------------------------|---------|-------|-----|---------------------|
| Tipo de elemento →        | Pilares |       |     |                     |
| Local →                   | -       |       |     |                     |
| Danos                     | $F_p$   | $F_l$ | $D$ | 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: Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (2015).

Salvo o item de fissuras, que são determinados no ato da vistoria baseado nas fichas de inspeções. Por exemplo, as ocorrências referentes às fissuras adquiridas no estado plástico estão trasladados na Figura 5.

Figura 5 - Valores de  $F_p$  sugeridos em função da tipologia das fissuras

| Fissuras               | Descrição                               | Croquis  | $F_p$   |   |
|------------------------|---|--|---|---|
| <b>ESTADO PLÁSTICO</b> | <b>De retração plástica do concreto</b> | - comuns em lajes e paredes.<br>- aproximadamente paralelas, superficiais e afastadas entre si de 0,3 a 1 m. |  | 2 |
|                        | <b>De assentamento do concreto</b>      | - sobre as armaduras.<br>- em pilares, ficam abaixo dos estribos.<br>- interação com armaduras vizinhas.     |   | 3 |
|                        | <b>De movimentação de fôrmas</b>        | - indicam posicionamento e/ou fixação incorretos ou resistência insuficiente de fôrmas/escoramentos          |   | 3 |

Fonte: Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (2015).

Posteriormente atribui notas de 1 a 4, a medida da gravidade do dano, para os Fatores de intensidade de um dano ( $F_i$ ), que classificam a magnitude e o desenvolvimento isolado da manifestação. Para a determinação de  $F_i$ , são considerados os apontamentos feitos por observação visual, que abrange de testes simples a análises ambientais onde as manifestações se encontram, além de comparações entre as deformações medidas e os limites recomendados por norma (VERLY, 2015).

Os cadernos de inspeções apresentam correlação entre danos e recomendações de  $F_i$  acompanhadas de fotos que minimizam a possibilidade de erro do fator de intensidade, conforme pode ser observada na Figura 6.



Figura 6 – Exemplos de fatores de intensidade ( $F_i$ ) recomendados

| 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: Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (2015).

O passo seguinte é calcular o Grau de Dano ( $D$ ), onde quantifica a manifestação de cada dano no elemento, é calculado em função de  $F_i$  e  $F_p$ , determinados a partir das Equações 1 e 2 a seguir:

- Para  $F_i \leq 2,0$ :

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

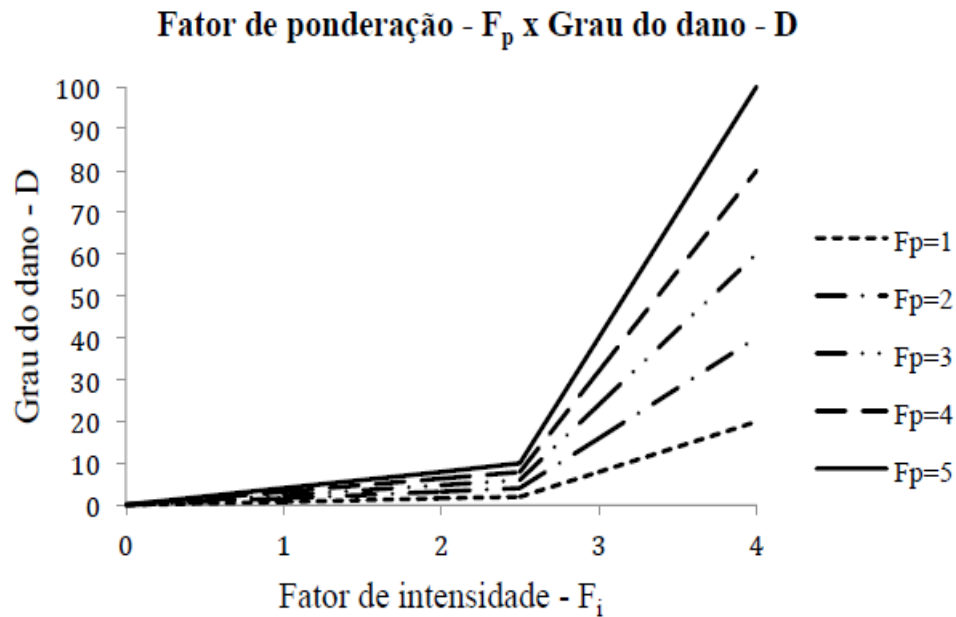
- Para  $F_i \geq 3,0$ :

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

Esta formulação é uma analogia ao modelo de Tuutti (1982), definido por Castro (1994). No entanto ao invés de utilizar a variável tempo para definir o grau de dano, Castro (1994) utilizou o valor de  $F_i$ . Assim, o parâmetro  $D$  depende das variáveis  $F_p$  ( $0 \leq F_p \leq 5$ ) e  $F_i$  ( $0 \leq F_i \leq 4$ ).

No gráfico da Figura 7 são observadas cinco curvas no qual apresenta um ponto de inflexão, momento no qual ocorre a divisão dos períodos de iniciação e de propagação da deterioração, o primeiro é definido como período em que a deterioração está presente, porém não compromete a vida útil da estrutura e nenhum dano é apresentado exteriormente (VERLY, 2015). Já o período de propagação o dano se manifesta interiormente e sua velocidade de deterioração é decisivo na vida residual da estrutura (CASTRO, 1994).

Figura 7 - Grau do dano (D) x Fator de intensidade (Fi) para valores de Fp variando de 1 a 5



Fonte: Verly (2015).

Subsequentemente, o Grau de Deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) é calculado de acordo com a Equação 3, a partir dos graus isolados de cada dano obtido, no qual Lopes (1998) determina que o efeito do maior dano encontrado seja somado aos efeitos dos demais.

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

Onde:

$G_{de}$  Grau de deterioração do elemento;

$D_i$  Grau de dano de índice “i”;

$D_{m\acute{a}x}$  Maior grau de dano encontrado no elemento;

$n$  Número de dados encontrado no elemento.

Para cada valor de Gde, são apresentados, no Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais, cinco níveis de deterioração do elemento e suas respectivas ações recomendadas (VERLY, 2015), como é demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento e recomendações em função do valor de Gde

| Nível de deterioração | $G_{de}$ | Ações Recomendadas   |
|-----------------------|----------|--|
| Baixo                 | 0-15     | Estado aceitável. Manutenção Preventiva.   |
| Médio                 | 16-50    | Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).                              |
| Alto                  | 51-80    | Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).                               |
| Sofrível              | 81-100   | Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).                    |
| Crítico               | >101     | Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc.). Planejar intervenção imediata. |

Fonte: Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (2015).

Logo após, calcula o Grau de deterioração de uma família de elemento ( $G_{df}$ ), Equação 4, que apresenta como finalidade analisar os elementos pertencentes a uma mesma família. Portanto, são considerados os valores de Gde.

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

Onde:

$G_{de,máx}$  Maior grau de deterioração encontrado em uma família de elementos;

$G_{de,i}$  Grau de deterioração dos elementos da família;

$n$  Número de dados encontrados na família.

É válido destacar que no primeiro estudo apresentado por Castro (1994), são considerados no cálculo de Gdf apenas os valores de Gde iguais ou superiores a 15, a fim de indicar o que denominou de danos expressivos. Entretanto, na adaptação de Euqeres (2011) em obras de artes especiais considera que todos os valores de Gde maiores que zero devem ser analisados e incluídos no cálculo de Gdf. Seu intuito é fazer com que todos os elementos da estrutura influenciem na avaliação global da OAE (VERLY, 2015). Este último modelo é que sera utilizado neste trabalho.

Por fim, o grau de deterioração da estrutura (Gd) é obtido pela média aritmética dos graus de deterioração das famílias de elementos da estrutura (Gdf), ponderada pelo fator de relevância estrutural (Fr), que avalia a relevância da família no comportamento e no

desempenho da estrutura como um todo, variando entre valores de 1 a 5 de acordo com as famílias, como se vê a seguir na Tabela 4.

Tabela 4 – Fatores de relevância estrutural para OAEs

| <b>Família</b>  | <b>Fr</b> |
|---|-----------|
| Barreiras, guarda-corpo, guarda rodas, pista de rolamento | 1         |
| Junta de dilatação  | 2         |
| Transversinas, cortinas, alas                             | 3         |
| Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio   | 4         |
| Vigas e pilares principais                                | 5         |

Fonte: Verly (2015).

A expressão apresentada na Equação 5 calcula o Grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ).

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

Onde:

$k$  Número de famílias da estrutura;

$F_{r,i}$  Fator de relevância estrutural da família de ordem “i”;

$G_{df,i}$  Grau de deterioração da família de ordem “i”.

Após o cálculo do  $G_d$  a estrutura pode ser classificada a partir do seu nível de deterioração e suas respectivas recomendações, como ilustra a Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura e recomendações em função do valor de  $G_d$ .

| <b>Nível de deterioração</b> | <b><math>G_d</math></b> | <b>Ações Recomendadas</b>  |
|------------------------------|-------------------------|--|
| Baixo                        | 0-15                    | Estado aceitável. Manutenção Preventiva.   |
| Médio                        | 16-50                   | Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).                              |
| Alto                         | 51-80                   | Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).                               |
| Sofrível                     | 81-100                  | Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).                    |
| Crítico                      | >101                    | Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc.). Planejar intervenção imediata. |

Fonte: Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (2015)

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PONTE ESCOLHIDA

A Ponte Fernando Henrique Cardoso, também conhecida como Ponte Amizade e da Integração, foi construída entre os anos de 1998 e 2002, com data de inauguração realizada em 27 de setembro de 2002. A mesma é constituída de 3 pontes e quatro aterros. Duas pontes possuem 100 metros de extensão cada e outra mais extensa possui 1 quilômetro de comprimento, observada na Figura 8. O complexo totaliza 8 km de extensão e possui coordenadas de 10°11'7"S 48°24'1"W.

Figura 8 - Ponte Fernando Henrique Cardoso



Fonte: O Autor (2017).

#### 3.2 PROCEDIMENTOS PARA INSPEÇÃO

O mapeamento da estrutura para definição das famílias a serem estudados, foi realizado conforme os projetos obtidos no DNIT/TO.

A metodologia possibilita a inserção de novas famílias ou divisão em subfamílias, caso seja necessário (VERLY, 2015). Na presente pesquisa, foram incluídas duas novas famílias: passeio lateral e barreiras *New Jersey*. Por estarem na mesma seção que a pista de rolamento foi adotado o mesmo valor de Fr, ou seja, um.

As famílias avaliadas foram: pista de rolamento, barreiras *New Jersey*, passeio lateral, juntas de dilatação e pilares. As três primeiras famílias foram divididas para enumeração e avaliação em sentidos de circulação da via, leste e oeste. Já as juntas de dilatação e os pilares foram enumerados e avaliados no sentido Luzimangues-Palmas, conforme Anexo B.

As inspeções ocorreram final de semana pela manhã na parte superior por haver menor fluxo de veículos e na parte da tarde a inspeção dos pilares. Em ambos os períodos, realizou-se registros fotográficos e preenchimento das fichas de inspeção presentes no Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais, com a atribuição dos fatores de intensidade e de ponderação dos danos, conforme o Anexo B e C, respectivamente.

Os dados coletados durante as inspeções foram analisados e passados por um processo de congruência antes da elaboração das fichas finais com as respectivas avaliações. Esse processo consistirá na comparação das fotografias com as planilhas, de modo a revisar possíveis incoerências nas atribuições das notas técnicas e dos fatores de intensidade da OAE inspecionada.

Os materiais, equipamentos e meios de transporte utilizados em campo foram:

- Planilha para preenchimentos dos valores de  $F_p$  e  $F_i$ ;
- Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB a OAEs;
- Câmera fotográfica para registros auxiliares;
- Prancheta para auxiliar o preenchimento das planilhas e o registro de anotações;
- Lancha para tráfego sobre o lago.

### 3.3 CONSIDERAÇÕES E ALTERAÇÕES DA METODOLOGIA

Embora as planilhas de inspeção disponíveis no Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais contemplem a grande maioria das manifestações patológicas encontradas nessas estruturas, durante a realização deste trabalho observou a presença de um agente que não está inserido nas planilhas: a vegetação.

O crescimento de plantas e vegetação em estruturas de concreto é muito prejudicial, pois pode provocar tensões não previstas, fissuras e até danos catastróficos. Em decorrência dessas razões, decidiu-se adaptar as planilhas de inspeção e incluir aos cálculos de avaliação os danos causados por esse agente. Para tal, definiu-se o Fator de Ponderação –  $F_p$  para esta manifestação patológica o valor igual a 4.

### 3.4 ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Para a análise das manifestações patológicas incidentes, elas serão divididas e quantificadas somando quantas vezes foram observadas visualmente nos elementos inspecionados. Apresentadas em forma de tabela, com a quantidade e porcentagem de cada dano.

Com base nas fichas de inspeção da metodologia, serão observadas as incidências das seguintes manifestações patológicas: Cobrimento deficiente, corrosão de armaduras, desagregação, deslocamento, descontinuidade, desgaste superficial, desgaste de sinalização, eflorescência, falhas de concretagem, fissuras, impermeabilização deficiente, infiltração,

manchas, obstrução de juntas de dilatação, desgaste dos materiais das juntas, sinais de esmagamento do concreto, umidade excessiva na infraestrutura.

### 3.5 DETERMINAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS (GD) PELA METODOLOGIA GDE/UNB

Após realização da inspeção, aplicará as formulações para obtenção dos valores de D, Ge, Gf e Gd, conforme a Equação 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Com o intuito de aperfeiçoamento, utilizará o programa Microsoft Excel para elaboração de planilhas sistematizadas, que irá calcular os respectivos valores após a inserção dos fatores de intensidade e ponderação para cada elemento. Assim, os resultados serão gerados de maneira eficaz e a sua apresentação mais clara.

A partir disto, será possível obter valores numéricos que quantificam e classificam a estrutura de forma detalhada. Para tanto, na análise destes resultados poderão ser observadas nos capítulos posteriores, através de tabelas e gráficos, seguindo-se a sequência:

- Grau de deterioração dos elementos;
- Grau de deterioração das famílias de elementos;
- Grau de deterioração da estrutura.

### 3.6 RECOMENDAÇÕES DOS ELEMENTOS PRIORITÁRIOS DE INTERVENÇÃO

Com a aplicação da fórmula do grau de deterioração do elemento, serão expressos valores que classificará seus elementos segundo uma ordem numérica de prioridade de intervenção. A partir disso, será possível apresentar a recomendação dos elementos prioritários de intervenção os elementos que mais contribuem para a deterioração da estrutura, sendo apresentados em ordens prioritárias de intervenção.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1 SITUAÇÃO DOS DANOS NOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

#### 4.1.1 Pista de rolamento

No momento da realização da inspeção, a pista de rolamento não apresentou grandes danos. Os únicos constatados foram desgastes superficiais do asfalto e da sinalização, (Figura 9) ao longo de toda a extensão nos dois sentidos da via, ambos apresentando  $F_i$  igual a 2.

Figura 9 - Pista de rolamento com aparente desgaste superficial e de sinalização.



Fonte: O Autor (2019).



#### 4.1.2 Barreiras *New Jersey*

De acordo com a NBR 6118:2014 as microfissuras presentes nas barreiras *New Jersey* são aceitáveis pois apresentam espessuras menores que 0,2 mm, portanto apresentam fatores de intensidade  $F_i = 1$ , conforme verificado na Figura 10.

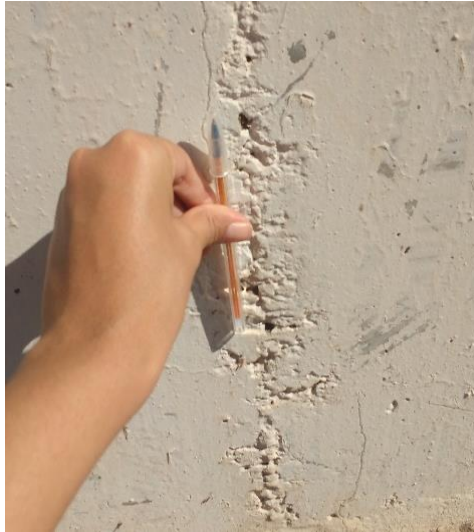
Figura 10 – Fissuras mapeadas presentes em toda a extensão das barreiras *New Jersey*



Fonte: O Autor (2019).

Apresenta também ao longo de toda sua extensão, falhas de concretagem (Figura 11) devido a falta de pasta de argamassa no encontro entre as duas peças pré-moldadas, porém é superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça, portanto, de acordo com o Roteiro de inspeção de pontes de concreto armado e protendido (EUQUERES, 2011), foi atribuído a esse dano o valor de  $F_i$  igual a 1.

Figura 11 – Falha de concretagem no encontro das peças pré moldadas.



Fonte: O Autor (2019).

É possível verificar também a obstrução da passagem da água da chuva preenchidos com plantas (Figuras 12) e sujeiras em excesso, dificultando a percolação da água pluvial, atribuísse Fi igual 2.

Figura 12 – Vegetação interrompendo a passagem de agua pluvial.



Fonte: O Autor (2019).

### 4.1.3 Passeio Lateral

Os passeios demonstraram estar em condições satisfatórias de conforto e segurança, sem oferecer qualquer risco de acidentes para os seus transeuntes, dos dois lados. Apresenta apenas desgaste total da sinalização horizontal indicativa de distancia percorrida, por conseguinte, o fator de intensidade foi igual a 3.

Figura 13 – Desgaste superficial do passeio lateral.



Fonte: O Autor (2019).

### 4.1.4 Juntas de Dilatação

Ao todo são 20 juntas de dilatação, dessas, 18 são fitas de neoprene. Enumeradas no sentido Luzimangues-Palmas. Em duas delas, a J1 (Figura 14.a) e a J20 (Figura 14.b) observa-se a existência de uma comprida fissura formada paralelamente à junta. Essa fissuração indica que a junta não consegue trabalhar de forma à garantir a movimentação adequada à estrutura, promovendo esforços adicionais que originam fissuras. Como a junta não está à mostra, por meio da análise visual pode-se deduzir que a causa da fissuração foi o preenchimento da junta de dilatação por material rígido, material de revestimento da pista.



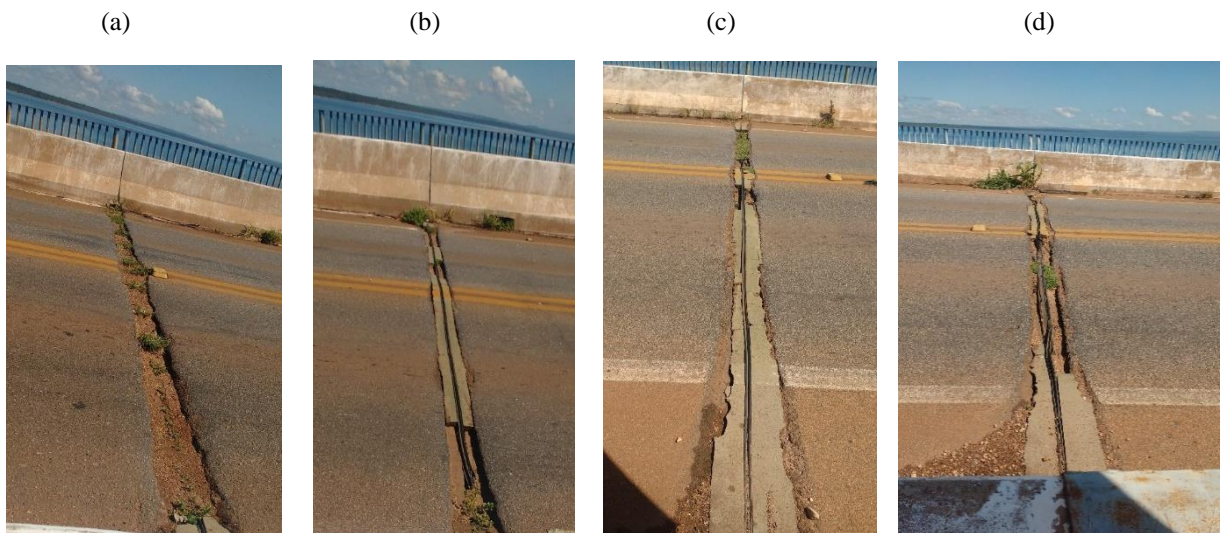
Figura 14 – Juntas de dilatação cobertas por material de revestimento da pista de rolamento.



Fonte: O Autor (2019).

A presença de material rígido ou o material de preenchimento da junta que tenha perdido a sua elasticidade produz tensões indesejáveis na estrutura, podendo ocasionar fissuras em elementos estruturais adjacentes à junta. Nas juntas J2 (a), J3 (b), J18 (c) e J19 (d) estão obstruídas, com material de preenchimento da junta desgastada, bem como vegetação existente devido a presença de umidade, conforme a Figura 15 abaixo.

Figura 15 – Juntas de dilatação desgastadas e com presença de vegetação

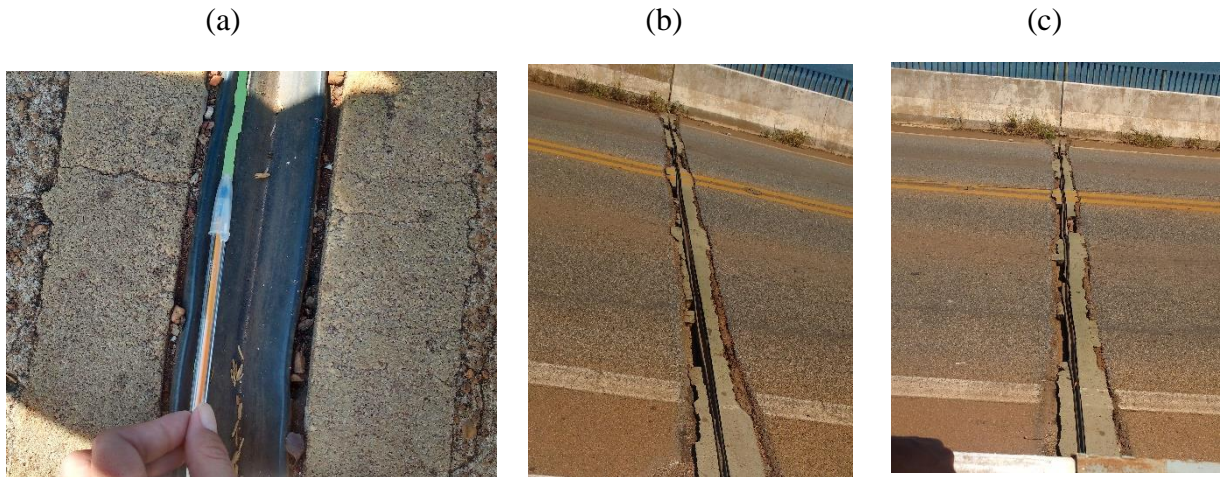


Fonte: O Autor (2019).

Em outras 8 juntas de dilatação, foram registradas a presença de materiais de preenchimento já antigos e degradados, que perderam a funcionalidade elástica e de vedação,

de tal forma que passam a ser obstruções à junta, a exemplo de 4 juntas abaixo, J9 (a), J16 (b), J17 (c), representadas na Figura 15. Em alguns trechos, a degradação intensa gerou, também, regiões de vazios, como é o caso da junta de dilatação J9 representado na Figura 16 (a).

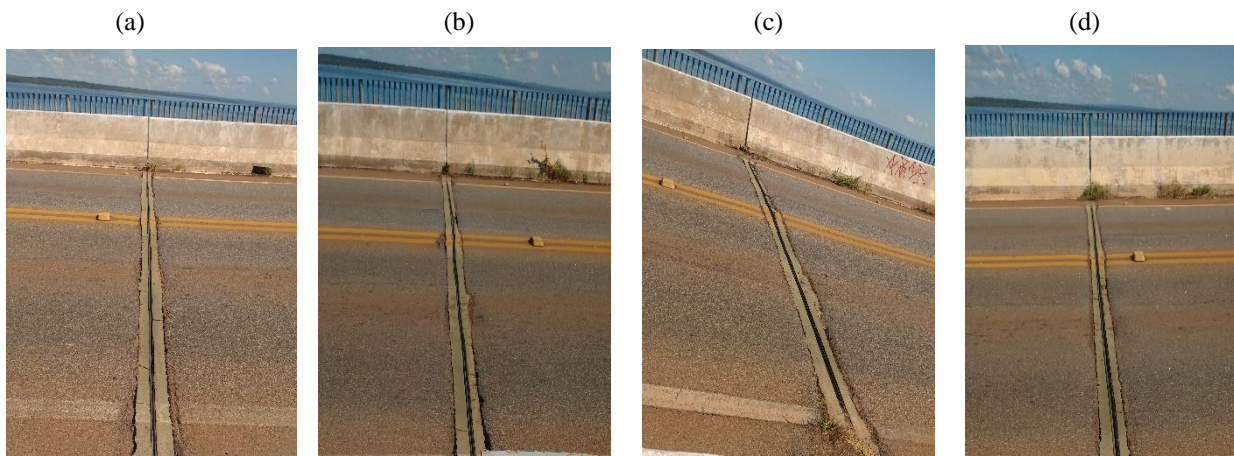
Figura 16 – Juntas de dilatação com material degradado.



Fonte: O Autor (2019).

Por fim, outras 7 juntas de dilatação (J4 a J8, J10 e J11) apresentaram poucos problemas em sua estrutura, significando assim, o valor de intensidade  $F_i = 2$ , em relação a obstrução das juntas. Consoante, verificação nas juntas J4 (a), J5 (b), J6 (c), J7 (d), dadas como exemplo na Figura 17, abaixo:

Figura 17 – Juntas de dilatação em boas condições.



Fonte: O Autor (2019).



#### 4.1.5 Pilares

Ao todo foram 40 pilares inspecionados, divididos em 20 Pilares duplos de concreto armado enumerados a partir dos encontros em vista longitudinal, sendo P1 e P22 os encontros. O mapeamento foi realizado conforme os projetos obtidos, com enumeração de cada pilar conforme o Anexo A, sendo também esta enumeração pintada presente na maioria dos pilares inspecionados.

O início das manifestações de eflorescência, caracterizada pelas manchas esbranquiçadas principalmente próximo ao encontro com as longarinas, devido a água pluvial proveniente da obstrução das juntas de dilatação na pista de rolamento, como se pode observar pela Figura 18 abaixo.

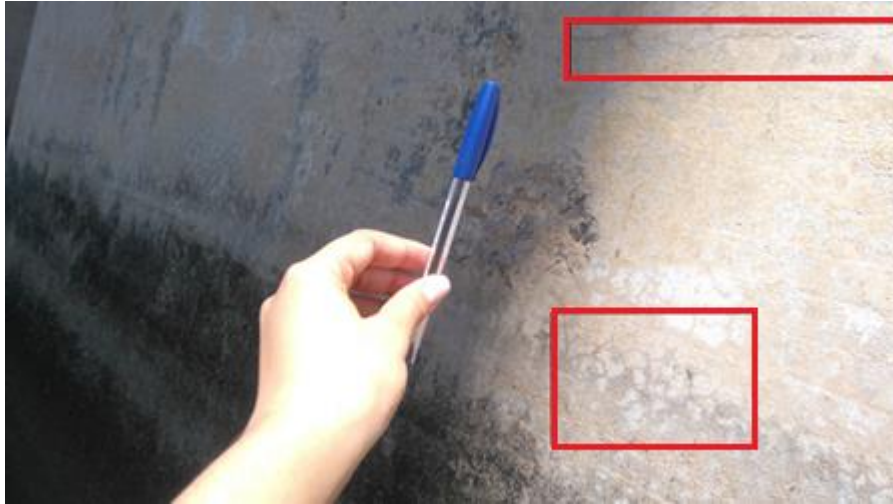
Figura 18 – Início das manifestações de eflorescência (manchas esbranquiçadas)



Fonte: O Autor (2019).

A maioria das fissuras são abertura menores do que as máximas previstas em norma. Conforme a NBR 6118:2014 as fissuras aceitáveis são aquelas menores que 0,2mm. Chamam atenção pela quantidade em que aparecem vistas em toda a estrutura de todos os pilares, como se pode perceber pelo exemplo da Figura 19.

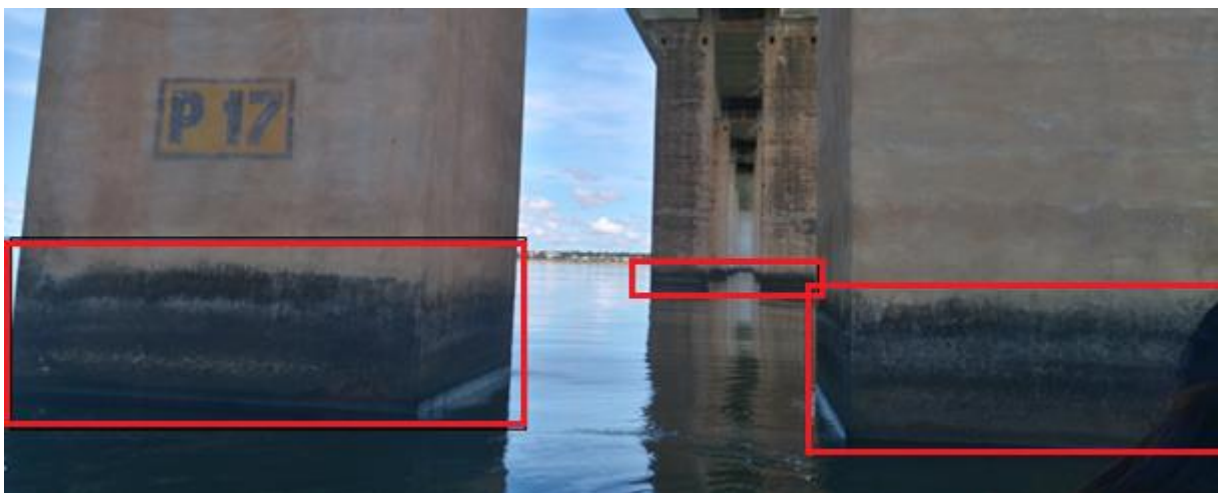
Figura 19 – Fissuras menores que 0,2 mm de abertura.



Fonte: O Autor (2019).

O dano umidade está presente em todos os pilares, são visualmente difíceis de serem localizadas, porque a umidade está associada a aparição dos danos “manchas” que apresentam coloração mais intensa e aparente, ressaltando sobre as manchas de umidade. É importante ressaltar que não se deve associar esse dano a mancha de eflorescência ou corrosão. Em grande parte dos pilares essas manchas se encontram nas partes inferiores dos pilares, até em média 1 (um) metro acima do nível do lago, devido a epoca de cheia e seca, bem como a maior incidência de umidade. A Figura 20, abaixo, ilustra esse dano.

Figura 20 – Mancha na parte inferior do pilar.



Fonte: O Autor (2019).

O dano deslocamento também foi observado em 16 pilares, 40% do total, causado possivelmente pelo impacto de embarcações, por se apresentar nas quinas externas com altura em média de 1,5m. Desses 16 pilares, 7 apresentam armaduras expostas à ação dos agentes de degradação, acelerando o processo de corrosão, assim como a armadura causa o deslocamento do concreto envolvente, devido ao processo de corrosão, em que a armadura ganha volume devido à produção de ferrugem, exercendo pressão sobre o concreto envolvente causando fissuração e posterior deslocamento, como se pode observar na Figura 21. Entre os efeitos da corrosão ressalta-se dano ao concreto, redução da capacidade resistente da armadura, perda de aderência entre concreto e aço e redução da ductilidade da armadura.

Figura 21 – Desplacamento com exposição de armadura no pilar 13-B.



Fonte: O Autor (2019).

As falhas de concretagem podem ocorrer por falhas nas fôrmas de concretagem, por ocorrência de exsudação, por falta de vibração adequada do concreto e/ou por falha na dosagem do concreto, que coloca em risco a espessura adequada de cobrimento da armadura e ate mesmo a falta dela, como pode ser observado na Figura 22 abaixo, no qual representa o Pilar 5-B.



Figura 22 – Ninho de concretagem com exposição da armadura no Pilar 5-B



Fonte: O Autor (2019).

#### 4.2 ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Durante as inspeções das foram detectados 302 danos divididos em quinze tipos diferentes, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Quadro de manifestações patológicas avaliadas na ponte e seu número de incidências.

|                         | INCIDÊNCIA | PERCENTUAL |
|-------------------------|------------|------------|
| COBRIMENTO DEFICIENTE   | 5          | 2%         |
| CORROSÃO DE ARMADURAS   | 6          | 2%         |
| DESAGREGAÇÃO            | 40         | 13%        |
| DESPLACAMENTO           | 23         | 7%         |
| EFLORESCÊNCIA           | 40         | 13%        |
| FALHA DE CONCRETAGEM    | 5          | 2%         |
| FISSURAS                | 42         | 14%        |
| MANCHAS                 | 40         | 13%        |
| UMIDADE                 | 40         | 13%        |
| VEGETAÇÃO               | 6          | 2%         |
| DESGASTE DE SINALIZAÇÃO | 4          | 1%         |
| DESGASTE SUPERFICIAL    | 4          | 1%         |
| UMIDADE EXCESSIVA       | 15         | 5%         |
| OBSTRUÇÃO DAS JUNTAS    | 18         | 6%         |
| DESGASTE DO MATERIAL    | 14         | 5%         |
| TOTAL DE INCIDÊNCIAS    | 302        | 100%       |

Fonte: O Autor (2019).

Observa-se na tabela acima que, as fissuras foram o dano de maior incidência, e podem ter diversas causas e origens. Esse é o único dano em que o valor de  $F_p$  não é previamente definido, devendo ser levado em consideração a peça onde se encontra a fissura e se a mesma é de retração plástica ou assentamento plástico, de retração do concreto por secagem, de flexão, etc.

Nas barreiras New Jersey e em 22 pilares, apresentam fatores de ponderação  $F_p = 2$ , pois os danos, em geral, são so estéticos, por serem fissuras mapeadas. Em 18 pilares o fator de ponderação foi igual a 3, por serem fissuras de retração do concreto por secagem, comum em peças estruturais pré-moldadas de grandes dimensões devido a falta de umidade correta na cura.

Umidade, eflorescência, manchas e desagregação, também foram observado em 100% dos pilares. Apresenta umidade excessiva principalmente na base de pilares, porém em alguns pilares em específico é possível observar este dano ao longo do seu comprimento. Este é proveniente de deficiência no material de preenchimento da junta de dilatação que permite a percolação da água pluvial através das transversinas atingindo o pilar.

Com essa ação de águas puras e brandas no concreto, causa a dissolução dos produtos de cálcio presentes na pasta de cimento do concreto e aparecimento na superfície do concreto, onde ao reagir com o  $CO_2$  presente no ar, dá início ao processo de eflorescência. Assim como também, a ação dessas águas pluvias favorece a ocorrência de manchas escuras nas superfícies de concreto, causadas pela contaminação por fungos, mofo, etc., principalmente nas partes expostas da estrutura.

Por fim, a desagregação encontrada na base dos pilares foi ocasionada pela ação de agentes erosivos e cavitação, causadas pela ação da água e bolhas de vapor de água respectivamente.

#### 4.3 DETERMINAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS (GD) PELA METODOLOGIA GDE/UNB

Após concluídas as inspeções e feitas as avaliações das manifestações patológicas encontradas em todos os elementos das OAEs, é possível determinar o grau de dano (D), conforme pode ser verificado no Apêndice B. Abaixo esta exemplificado, usando a família ‘Passeio Lateral’, como é obtido esse resultado.

Para o dano ‘Desgaste superficial’ apresentou  $F_i = 1$ , já para o dano ‘Desgaste de sinalização’, apresentou  $F_i = 2$ . A utilização da Equação 1 ou da Equação 2 depende do valor de

Fi ser menor ou maior que 2. Assim, para tanto para o desgaste superficial e o desgaste de sinalização foi utilizada a primeira equação, ficando o cálculo da seguinte forma:

$$D_{\text{Desgaste superficial}} = 0,8 \cdot 1 \cdot 5 = 4$$

$$D_{\text{Desgaste de sinalização}} = 0,8 \cdot 2 \cdot 5 = 8$$

Após a avaliação de cada dano isoladamente, foi avaliado o elemento estrutural sob o efeito de todos os danos nele existentes, Grau de Deterioração do Elemento (Gde) o que é feito por meio da Equação 3.

$$G_{de} = 8 \left[ 1 + \frac{(4+8)-8}{(4+8)} \right] = 10,67$$

Os cálculos mostrados até aqui são repetidos para cada dano encontrado durante a inspeção (cálculo de D) e em seguida para cada elemento da estrutura (cálculo de Gde). De posse dos valores dos graus de deterioração de cada elemento, são feitas recomendações acerca de providências a serem tomadas para cada elemento isoladamente. Assim, de acordo com a Tabela 3, a intervenção no passeio lateral, sentido Luzimangues-Palmas, esta em estado aceitável, necessitando apenas de manutenção preventiva.

A tabela 7 abaixo especifica o nível de deterioração dos elementos na Ponte Fernando Henrique Cardoso, divididos em suas determinadas famílias.

Tabela 7 – Graus de deterioração de cada elemento e seus respectivos níveis de deterioração

| <b>Pista de Rolamento</b> |            |                              | <b>Barreiras <i>New Jersey</i></b> |            |                              |
|---------------------------|------------|------------------------------|------------------------------------|------------|------------------------------|
| <b>Elemento</b>           | <b>Gde</b> | <b>Nível de Deterioração</b> | <b>Elemento</b>                    | <b>Gde</b> | <b>Nível de Deterioração</b> |
| Sentido Luzimangues       | 12,00      | Baixo                        | Sentido Luzimangues                | 8,86       | Baixo                        |
| Sentido Palmas            | 12,00      | Baixo                        | Sentido Palmas                     | 8,86       | Baixo                        |

| <b>Passeio Lateral</b> |            |                              |
|------------------------|------------|------------------------------|
| <b>Elemento</b>        | <b>Gde</b> | <b>Nível de Deterioração</b> |
| Sentido Luzimangues    | 10,67      | Baixo                        |
| Sentido Palmas         | 10,67      | Baixo                        |

| <b>Juntas de Dilatação</b> |            |                              |
|----------------------------|------------|------------------------------|
| <b>Elemento</b>            | <b>Gde</b> | <b>Nível de Deterioração</b> |
| J1                         | 46,67      | Médio                        |
| J2                         | 51,43      | Alto                         |
| J3                         | 13,33      | Baixo                        |
| J4                         | 10,67      | Baixo                        |
| J5                         | 10,70      | Baixo                        |
| J6                         | 11,00      | Baixo                        |
| J7                         | 11,00      | Baixo                        |
| J8                         | 13,00      | Baixo                        |
| J9                         | 51,00      | Alto                         |
| J10                        | 0,00       | Baixo                        |
| J11                        | 0,00       | Baixo                        |
| J12                        | 12,00      | Baixo                        |
| J13                        | 13,00      | Baixo                        |
| J14                        | 51,00      | Alto                         |
| J15                        | 62,00      | Alto                         |
| J16                        | 132,00     | Crítico                      |
| J17                        | 62,00      | Alto                         |
| J18                        | 114,00     | Crítico                      |
| J19                        | 51,00      | Alto                         |
| J20                        | 12,00      | Baixo                        |

| <b>Pilares</b>  |            |                              |
|-----------------|------------|------------------------------|
| <b>Elemento</b> | <b>Gde</b> | <b>Nível de Deterioração</b> |
| P2              | 8,16       | Baixo                        |
| P2 – B          | 8,49       | Baixo                        |
| P3              | 8,61       | Baixo                        |
| P3 – B          | 8,35       | Baixo                        |
| P4              | 8,16       | Baixo                        |
| P4 – B          | 8,64       | Baixo                        |
| P5              | 8,70       | Baixo                        |
| P5 – B          | 33,60      | Médio                        |
| P6              | 13,78      | Baixo                        |
| P6 – B          | 8,16       | Baixo                        |
| P7              | 8,16       | Baixo                        |
| P7 – B          | 8,49       | Baixo                        |
| P8              | 8,49       | Baixo                        |
| P8 – B          | 36,00      | Médio                        |
| P9              | 8,49       | Baixo                        |
| P9 – B          | 34,67      | Médio                        |
| P10             | 34,67      | Médio                        |
| P10 – B         | 8,49       | Baixo                        |
| P11             | 33,60      | Médio                        |
| P11 – B         | 8,49       | Baixo                        |
| P12             | 8,57       | Baixo                        |
| P12 – B         | 36,92      | Médio                        |
| P13             | 36,00      | Médio                        |
| P13 – B         | 37,09      | Médio                        |
| P14             | 14,00      | Baixo                        |
| P14 – B         | 36,00      | Médio                        |
| P15             | 8,40       | Baixo                        |
| P15 – B         | 8,80       | Baixo                        |
| P16             | 84,00      | Sofrível                     |
| P16 – B         | 8,16       | Médio                        |
| P17             | 8,49       | Baixo                        |
| P17 – B         | 8,16       | Baixo                        |
| P18             | 8,16       | Baixo                        |
| P18 – B         | 8,16       | Baixo                        |
| P19             | 8,16       | Baixo                        |
| P19 – B         | 8,16       | Baixo                        |
| P20             | 8,16       | Baixo                        |
| P20 – B         | 8,16       | Baixo                        |
| P21             | 8,16       | Baixo                        |
| P21 – B         | 8,16       | Baixo                        |

O próximo passo foi calcular grau de deterioração de cada família da estrutura (Gdf), utilizando a Equação 4, que é o conjunto de todos os elementos pertencentes para uma mesma família. Para a família do ‘passeio lateral’, os cálculos são os seguintes:

$$G_{df} = 10,67 \sqrt{1 + \frac{(10,67+10,67)-10,67}{(10,67+10,67)}} = 13,06$$

Na Tabela 8 indica o Gdf para as demais famílias da Ponte Fernando Henrique Cardoso e os respectivos Fatores de Relevância Estrutural (Fr).

Tabela 8 – Grau de deterioração de família de elementos e seus fatores de relevância estrutural

| <b>Família</b>       | <b>Gdf</b> | <b>Fr</b> |
|----------------------|------------|-----------|
| Barreiras New Jersey | 10,85      | 1         |
| Pista de Rolamento   | 14,7       | 1         |
| Juntas de Dilatação  | 178,02     | 2         |
| Pilares              | 114,98     | 5         |

Fonte: O Autor (2019).

A avaliação da estrutura como um todo é feita pelo grau de deterioração da estrutura (Gd), que é calculado pela Equação 5. O calculo do valor de Gd depende diretamente dos valores de Gdf, conforme mostrado a seguir.

$$G_d = \frac{13,06x1+10,85x1+14,7x1+178,02x2+114,98x5}{1+1+1+2+5} = 96,95$$

O valor de Gd obtido corresponde ao nível de deterioração “sofrível”, para o qual se deve definir prazo para nova inspeção especializada rigorosa. Nesse caso a intervenção também pode ser planejada para o curto prazo (máximo 6 meses), conforme a Tabela 5.

#### 4.4 RECOMENDAÇÕES DOS ELEMENTOS PRIORITÁRIOS DE INTERVENÇÃO

A família dos pilares recebeu o menor valor de Gdf e, porém, o impacto provocado por ela no resultado final foi superior àquele causado pela família das juntas de dilatação, pelo motivo de apresentar maior relevância estrutural, sendo seus respectivos valores de Fr iguais a 5 e 2. Deste modo, a família das pilares foi a que mais influenciou no alto valor do Gd, seguido das juntas de dilatação, pista de rolamento, passeio lateral e barreiras *New Jersey*, classificando assim nas famílias prioritárias de intervenção.

Em relação aos elementos, eles se dividem nas seguintes intervenções por consequência dos resultados de Gde apresentados:

- Manutenção Preventiva –  $0 < Gde < 15$  (Baixo): todos os elementos das juntas de dilatação, pista de rolamento e passeio lateral, bem como 55% das juntas de dilatação e 72,50% pilares;

- Longo Prazo (máximo 2 anos) –  $16 < Gde < 50$  (Médio): junta de dilatação 1 (J1) e 25% dos pilares;
- Médio Prazo (máximo 18 meses) –  $51 < Gde < 80$  (Alto): 30% das juntas de dilatação;
- Curto Prazo (máximo de 6 meses) -  $81 < Gde < 100$  (Crítico): apenas o Pilar 16;
- Intervação Imediata –  $Gde > 100$  (Sofrível): Juntas de Dilatação J16 e J18.

O desgaste do material, como degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade da J16 permitiu a passagem da água pela junta, propiciando o ambiente para a formação de manchas escuras em todo o P16, justificando assim por serem os elementos prioritários de intervenção interferindo diretamente no grau de deterioração da Ponte Fernando Henrique Cardoso.

Nos casos de obras sobre cursos d'água, os elementos de captação instalados sobre tabuleiro devem promover a descarga direta sobre a água ou terreno natural protegido contra a erosão. Nos outros casos, como em obras urbanas, a drenagem deve ser realizada por meio de prumadas, geralmente instaladas próximas aos pilares.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho pretendeu avaliar a aplicação da metodologia GDE/UnB como parâmetro para se definir as condições de durabilidade de obras de arte especiais de concreto armado, fazendo-se, para isso, estudos de caso na região metropolitana de Palmas/TO.

Depois de decorridas as análises, constatou-se que a metodologia GDE/UnB passou por adaptações para sua utilização em inspeções rotineiras de OAEs rodoviárias, tendo como base o estudo feito por Verly (2015). Considerando que as inspeções rotineiras são essencialmente visuais, os danos que necessitavam de ensaios de campo para sua constatação foram eliminados. Outro ajuste necessário foi a inclusão de duas novas famílias de elementos: passeio lateral e barreiras New Jersey, bem como a inclusão de uma nova manifestação patológica, a vegetação.

Após a tabulação dos danos foi possível a avaliação da incidência dos mesmos. Os quatro danos de maior incidência foram as fissuras, com 42 ocorrências, as desagregações, umidade e as manchas, com 40 ocorrências. Todas essas patologias são encontradas nos pilares. As fissuras são de causa por retração térmica, desagregações proveniente da cavitação por vapor d'água, e umidades e manchas proveniente da falha do selantes nas juntas de dilatação.

A ponte Fernando Henrique Cardoso se encontra em condições sofríveis, segundo a classificação determinada pela metodologia GDE/UnB, necessitando de inspeção especializada rigorosa e intervenção em curto prazo, no máximo, seis meses. Sendo família dos pilares e juntas de dilatação, são as que necessitam de intervenção prioritárias, especificamente nos elementos P16 e J16, J18, respectivamente.

Conclui-se, por fim, que a metodologia GDE/UnB, para os fins dessa pesquisa, mostrou resultados similares ao esperado pelo estado da ponte, e pode ser considerada adequada para avaliação de pontes e outras estruturas de concreto armado. É importante ressaltar, assim como Castro (1994), a necessidade de um maior número de aplicações da metodologia para adequação e revisão das formulações utilizadas, a fim de torna-la cada vez mais precisa.

## **6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Estudo dos serviços de manutenção para diferentes sistemas estruturais de OAEs e em diferentes níveis de deterioração;
- Estudo de custos para os serviços de manutenção relacionados no item anterior;
- Inspeccionar as demais pontes da cidade de Palmas/TO com a metodologia GDE/UnB.



## REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

\_\_\_\_\_. **NORMA DNIT 010: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento.** Brasília, 2004c. 18 p.

ALMEIDA, J. M. M. R. M. O. **Sistema de gestão de pontes com base em custos de ciclo de vida.** Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013. 380 p.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO. **The manual for bridge evaluation.** 2 ed. Washington, 2013, 558 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR 9452 – **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2016. 48p.

BRASIL. **Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transportes (2010):** Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários. IPR -744, Rio de Janeiro, p. 161

BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 295p.

CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado,** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994. 185 p.

CEB-FIB. bulletin 17 - **Management, maintenance and strengthening of concrete structures,** Technical Report, 2002.

CLÍMACO, J. T. C. S. et. al. **Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras De Arte Especiais.** 2015. 33f. Dissertação – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil - PECC/UnB, Brasília, DF.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Implantação e operação em âmbito nacional do sistema de gerenciamento de pontes - 3ª fase, Relatório final,** Brasília, DF, 2004c. 5 v.

EUQUERES, P. **Metodologia de inspeção de pontes de concreto armado,** Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2011. 168 p.

FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. 213 p.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** 2 ed. São Paulo: Pini, 2011. 213 p.

KLEIN, D. et al. **Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte.** XXV Jornada Sul Americana de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, p. 185–196, Novembro, 1991.

LOPES, B. A. R. **Sistema de manutenção predial para grades estoques de edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998. 308 p.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado.** 1. Ed. São Paulo: Editora Blucher, 2008. 1 p.

MEDEIROS, M. H. F; ANDRADE, J. J. O; HELENE, P. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto.** São Paulo, 2011. 6 p.

MENDES, Viviane Gonçalves. **Avaliação quantitativa dos danos na estrutura de concreto armado da biblioteca central da UnB e proposta de plano de gestão da manutenção dos edifícios da universidade.** 2014. 86 f. Dissertação – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília.

RILEM (1988). Measurement of hardened concrete carbonation depth TC56-CPC 18.

SMITH, N. J.; SILVA FILHO, L. C. P. *Economic appraisal in advanced bridge management systems.* In: IBMC, 1999, Denver. **Transportation Research Circular 498 - Presentations from the 8th International Bridge Management Conference.** Washington, D.C.: Transportation Research Board, 1999. v. I.

SITTER, W.R. **Costs for Service Life Optimization. The “Law of Fives”.** In: CEB-RILEM Durability of Concrete Structures. Proceedings of the International Workshop held in Copenhagen, 18-20 May 1983. Copenhagen, CEB, 1984. (Workshop Reported by Steen Rostam)

TUUTTI, Kyosti. **Corrosion of Steel in Concrete.** Stockholm, Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.

**VERLY, R. C. Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais.** 2015. 178 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), Publicação E.DM-015A/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 178p.

**APÊNDICES**

## APÊNDICE A - Listagem dos elementos, danos e respectivos valores de Fp, Fi e D.

| <b>Família</b>              | <b>Elemento</b>     | <b>Dano</b>             | <b>Fp</b> | <b>Fi</b> | <b>D</b> |
|-----------------------------|---------------------|-------------------------|-----------|-----------|----------|
| Passeio Lateral             | Sentido Luzimangues | Desgaste de Sinalização | 5         | 2         | 8        |
| Passeio Lateral             | Sentido Luzimangues | Desgaste Superficial    | 5         | 1         | 4        |
| Passeio Lateral             | Sentido Palmas      | Desgaste de Sinalização | 5         | 2         | 8        |
| Passeio Lateral             | Sentido Palmas      | Desgaste Superficial    | 5         | 1         | 4        |
| Barreiras <i>New Jersey</i> | Sentido Luzimangues | Cobrimento Deficiente   | 3         | 1         | 2,4      |
| Barreiras <i>New Jersey</i> | Sentido Luzimangues | Fissuras                | 2         | 1         | 1,6      |
| Barreiras <i>New Jersey</i> | Sentido Luzimangues | Vegetação               | 4         | 2         | 6,4      |
| Barreiras <i>New Jersey</i> | Sentido Palmas      | Cobrimento Deficiente   | 3         | 1         | 2,4      |
| Barreiras <i>New Jersey</i> | Sentido Palmas      | Fissuras                | 2         | 1         | 1,6      |
| Barreiras <i>New Jersey</i> | Sentido Palmas      | Vegetação               | 4         | 2         | 6,4      |
| Pista de Rolamento          | Sentido Luzimangues | Desgaste de Sinalização | 5         | 2         | 8        |
| Pista de Rolamento          | Sentido Luzimangues | Desgaste Superficial    | 5         | 2         | 8        |
| Pista de Rolamento          | Sentido Palmas      | Desgaste de Sinalização | 5         | 2         | 8        |
| Pista de Rolamento          | Sentido Palmas      | Desgaste Superficial    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J1                  | Obstrução das Juntas    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J1                  | Desgaste do Material    | 5         | 3         | 40       |
| Juntas de Dilatação         | J2                  | Umidade Excessiva       | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J2                  | Obstrução das Juntas    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J2                  | Desgaste do Material    | 5         | 3         | 40       |
| Juntas de Dilatação         | J2                  | Vegetação               | 4         | 2         | 6,4      |
| Juntas de Dilatação         | J3                  | Umidade Excessiva       | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J3                  | Obstrução das Juntas    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J3                  | Desgaste do Material    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J3                  | Vegetação               | 4         | 2         | 6,4      |
| Juntas de Dilatação         | J4                  | Umidade Excessiva       | 5         | 1         | 4        |
| Juntas de Dilatação         | J4                  | Obstrução das Juntas    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J5                  | Umidade Excessiva       | 5         | 1         | 4        |
| Juntas de Dilatação         | J5                  | Obstrução das Juntas    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J6                  | Umidade Excessiva       | 5         | 1         | 4        |
| Juntas de Dilatação         | J6                  | Obstrução das Juntas    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J7                  | Umidade Excessiva       | 5         | 1         | 4        |
| Juntas de Dilatação         | J7                  | Obstrução das Juntas    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J8                  | Umidade Excessiva       | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J8                  | Obstrução das Juntas    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J8                  | Desgaste do Material    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J9                  | Umidade Excessiva       | 5         | 3         | 40       |
| Juntas de Dilatação         | J9                  | Obstrução das Juntas    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J9                  | Desgaste do Material    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J12                 | Obstrução das Juntas    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J12                 | Desgaste do Material    | 5         | 2         | 8        |
| Juntas de Dilatação         | J13                 | Umidade Excessiva       | 5         | 1         | 4        |
| Juntas de Dilatação         | J13                 | Obstrução das Juntas    | 5         | 2         | 8        |

|                     |      |                      |   |   |     |
|---------------------|------|----------------------|---|---|-----|
| Juntas de Dilatação | J13  | Desgaste do Material | 5 | 2 | 8   |
| Juntas de Dilatação | J14  | Umidade Excessiva    | 5 | 3 | 40  |
| Juntas de Dilatação | J14  | Obstrução das Juntas | 5 | 2 | 8   |
| Juntas de Dilatação | J14  | Desgaste do Material | 5 | 2 | 8   |
| Juntas de Dilatação | J15  | Umidade Excessiva    | 5 | 3 | 40  |
| Juntas de Dilatação | J15  | Obstrução das Juntas | 5 | 2 | 8   |
| Juntas de Dilatação | J15  | Desgaste do Material | 5 | 3 | 40  |
| Juntas de Dilatação | J16  | Umidade Excessiva    | 5 | 4 | 100 |
| Juntas de Dilatação | J16  | Obstrução das Juntas | 5 | 2 | 8   |
| Juntas de Dilatação | J16  | Desgaste do Material | 5 | 3 | 40  |
| Juntas de Dilatação | J17  | Umidade Excessiva    | 5 | 3 | 40  |
| Juntas de Dilatação | J17  | Obstrução das Juntas | 5 | 2 | 8   |
| Juntas de Dilatação | J17  | Desgaste do Material | 5 | 3 | 40  |
| Juntas de Dilatação | J18  | Umidade Excessiva    | 5 | 4 | 100 |
| Juntas de Dilatação | J18  | Obstrução das Juntas | 5 | 2 | 8   |
| Juntas de Dilatação | J18  | Desgaste do Material | 5 | 2 | 8   |
| Juntas de Dilatação | J18  | Vegetação            | 4 | 2 | 6,4 |
| Juntas de Dilatação | J19  | Umidade Excessiva    | 5 | 3 | 40  |
| Juntas de Dilatação | J19  | Obstrução das Juntas | 5 | 2 | 8   |
| Juntas de Dilatação | J19  | Desgaste do Material | 5 | 2 | 8   |
| Juntas de Dilatação | J19  | Vegetação            | 4 | 2 | 6,4 |
| Juntas de Dilatação | J20  | Obstrução das Juntas | 5 | 2 | 8   |
| Juntas de Dilatação | J20  | Desgaste do Material | 5 | 2 | 8   |
| Pilar               | P2   | Desagregação         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar               | P2   | Eflorescência        | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar               | P2   | Fissuras             | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar               | P2   | Manchas              | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar               | P2   | Umidade              | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar               | P2-B | Desagregação         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar               | P2-B | Desplacamento        | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar               | P2-B | Eflorescência        | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar               | P2-B | Fissuras             | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar               | P2-B | Manchas              | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar               | P2-B | Umidade              | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar               | P3   | Desagregação         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar               | P3   | Desplacamento        | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar               | P3   | Eflorescência        | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar               | P3   | Falha de Concretagem | 3 | 1 | 2,4 |
| Pilar               | P3   | Fissuras             | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar               | P3   | Manchas              | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar               | P3   | Umidade              | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar               | P3-B | Desagregação         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar               | P3-B | Eflorescência        | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar               | P3-B | Falha de Concretagem | 3 | 1 | 2,4 |
| Pilar               | P3-B | Fissuras             | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar               | P3-B | Manchas              | 3 | 2 | 4,8 |

|       |      |                        |   |   |     |
|-------|------|------------------------|---|---|-----|
| Pilar | P3-B | Umidade                | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P4   | Desagregação           | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P4   | Eflorescência          | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P4   | Fissuras               | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P4   | Manchas                | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P4   | Umidade                | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P4-B | Desagregação           | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P4-B | Desplacamento          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P4-B | Eflorescência          | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P4-B | Fissuras               | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P4-B | Manchas                | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P4-B | Umidade                | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P5   | Cobrimento Deficiente  | 3 | 1 | 2,4 |
| Pilar | P5   | Desagregação           | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P5   | Desplacamento          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P5   | Eflorescência          | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P5   | Falha de Concretagem   | 3 | 1 | 2,4 |
| Pilar | P5   | Fissuras               | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P5   | Manchas                | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P5   | Umidade                | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P5-B | Desagregação           | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P5-B | Desplacamento          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P5-B | Eflorescência          | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P5-B | Falha de Concretagem   | 3 | 3 | 24  |
| Pilar | P5-B | Fissuras               | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P5-B | Manchas                | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P5-B | Umidade                | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P6   | Corrosão das Armaduras | 5 | 2 | 8   |
| Pilar | P6   | Desagregação           | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P6   | Desplacamento          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P6   | Eflorescência          | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P6   | Fissuras               | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P6   | Manchas                | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P6   | Umidade                | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P6-B | Desagregação           | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P6-B | Eflorescência          | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P6-B | Fissuras               | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P6-B | Manchas                | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P6-B | Umidade                | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P7   | Desagregação           | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P7   | Eflorescência          | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P7   | Fissuras               | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P7   | Manchas                | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P7   | Umidade                | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P7-B | Desagregação           | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P7-B | Desplacamento          | 3 | 2 | 4,8 |

|       |       |                       |   |   |     |
|-------|-------|-----------------------|---|---|-----|
| Pilar | P7-B  | Eflorescência         | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P7-B  | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P7-B  | Manchas               | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P7-B  | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P8    | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P8    | Desplacamento         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P8    | Eflorescência         | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P8    | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P8    | Manchas               | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P8    | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P8-B  | Corrosão de Armaduras | 5 | 2 | 8   |
| Pilar | P8-B  | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P8-B  | Desplacamento         | 3 | 3 | 24  |
| Pilar | P8-B  | Eflorescência         | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P8-B  | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P8-B  | Manchas               | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P8-B  | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P9    | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P9    | Desplacamento         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P9    | Eflorescência         | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P9    | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P9    | Manchas               | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P9    | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P9-B  | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P9-B  | Desplacamento         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P9-B  | Eflorescência         | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P9-B  | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P9-B  | Manchas               | 3 | 3 | 24  |
| Pilar | P9-B  | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P10   | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P10   | Desplacamento         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P10   | Eflorescência         | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P10   | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P10   | Manchas               | 3 | 3 | 24  |
| Pilar | P10   | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P10-B | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P10-B | Desplacamento         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P10-B | Eflorescência         | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P10-B | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P10-B | Manchas               | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P10-B | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P11   | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P11   | Desplacamento         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P11   | Eflorescência         | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P11   | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P11   | Manchas               | 3 | 3 | 24  |



|       |         |                       |   |   |     |
|-------|---------|-----------------------|---|---|-----|
| Pilar | P11     | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P11-B   | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P11-B   | Desplacamento         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P11-B   | Eflorescência         | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P11-B   | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P11-B   | Manchas               | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P11-B   | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P12     | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P12     | Desplacamento         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P12     | Eflorescência         | 2 | 2 | 3,2 |
| Pilar | P12     | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P12     | Manchas               | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P12     | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P12-B   | Cobrimto Deficiente   | 3 | 1 | 2,4 |
| Pilar | P12-B   | Corrosão de Armaduras | 5 | 2 | 8   |
| Pilar | P12-B   | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P12-B   | Desplacamento         | 3 | 3 | 24  |
| Pilar | P12-B   | Eflorescência         | 2 | 2 | 3,2 |
| Pilar | P12-B   | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P12-B   | Manchas               | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P12-B   | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P13     | Corrosão de Armaduras | 5 | 2 | 8   |
| Pilar | P13     | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P13     | Desplacamento         | 3 | 3 | 24  |
| Pilar | P13     | Eflorescência         | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P13     | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P13     | Manchas               | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P13     | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P13 - B | Cobrimto Deficiente   | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P13 - B | Corrosão de Armaduras | 5 | 2 | 8   |
| Pilar | P13 - B | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P13 - B | Desplacamento         | 3 | 3 | 24  |
| Pilar | P13 - B | Eflorescência         | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P13 - B | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P13 - B | Manchas               | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P13 - B | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P14     | Corrosão de Armaduras | 5 | 2 | 8   |
| Pilar | P14     | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P14     | Desplacamento         | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P14     | Eflorescência         | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P14     | Fissuras              | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P14     | Manchas               | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P14     | Umidade               | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P14 - B | Corrosão de Armaduras | 5 | 2 | 8   |
| Pilar | P14 - B | Desagregação          | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P14 - B | Desplacamento         | 3 | 3 | 24  |

|       |         |               |   |   |     |
|-------|---------|---------------|---|---|-----|
| Pilar | P14 - B | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P14 - B | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P14 - B | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P14 - B | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P15     | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P15     | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P15     | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P15     | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P15     | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P15 -B  | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P15 -B  | Desplacamento | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P15 -B  | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P15 -B  | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P15 -B  | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P15 -B  | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P16     | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P16     | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P16     | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P16     | Manchas       | 3 | 4 | 60  |
| Pilar | P16     | Umidade       | 4 | 3 | 32  |
| Pilar | P16 - B | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P16 - B | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P16 - B | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P16 - B | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P16 - B | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P17     | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P17     | Desplacamento | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P17     | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P17     | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P17     | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P17     | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P17 - B | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P17 - B | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P17 - B | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P17 - B | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P17 - B | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P18     | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P18     | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P18     | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P18     | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P18     | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P18 - B | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P18 - B | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P18 - B | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P18 - B | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P18 - B | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |

|       |         |               |   |   |     |
|-------|---------|---------------|---|---|-----|
| Pilar | P19     | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P19     | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P19     | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P19     | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P19     | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P19 - B | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P19 - B | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P19 - B | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P19 - B | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P19 - B | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P20     | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P20     | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P20     | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P20     | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P20     | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P20 - B | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P20 - B | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P20 - B | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P20 - B | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P20 - B | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P21     | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P21     | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P21     | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P21     | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P21     | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |
| Pilar | P21 - B | Desagregação  | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P21 - B | Eflorescência | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P21 - B | Fissuras      | 2 | 1 | 1,6 |
| Pilar | P21 - B | Manchas       | 3 | 2 | 4,8 |
| Pilar | P21 - B | Umidade       | 4 | 1 | 3,2 |



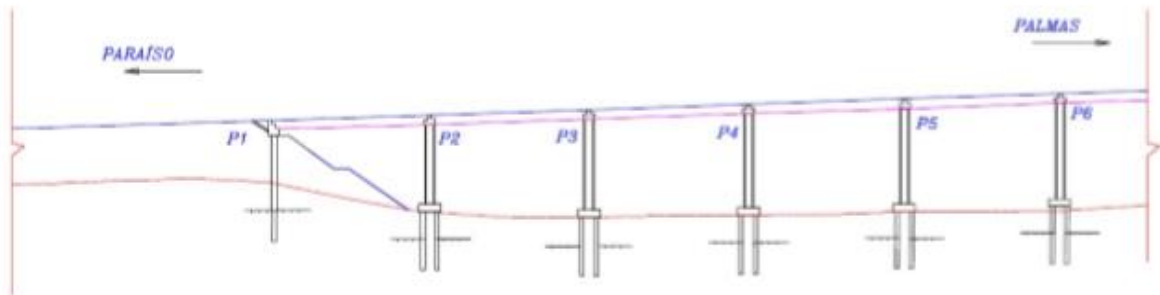
**ANEXOS**

## ANEXO A – Corte Longitudinal da Ponte Fernando Henrique Cardoso

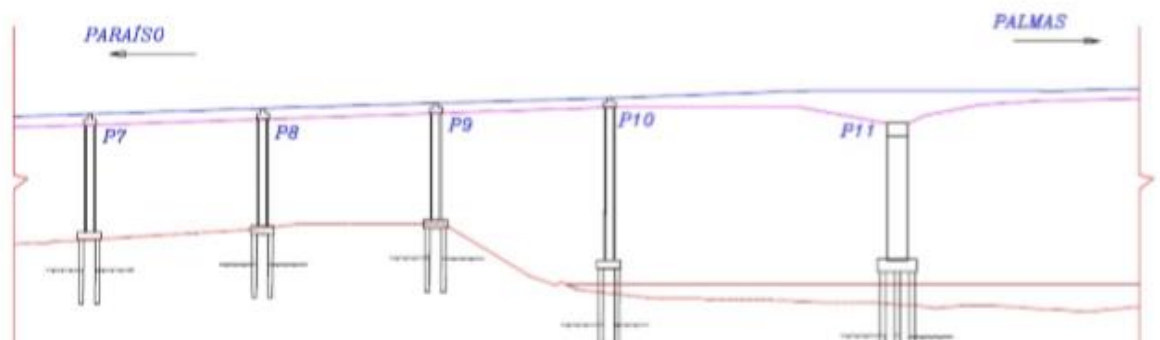
*Corte Longitudinal Ponte FHC*

ANEXO B – Localização dos Pilares da Ponte Fernando Henrique Cardoso conforme corte  
Longitudinal do Anexo A

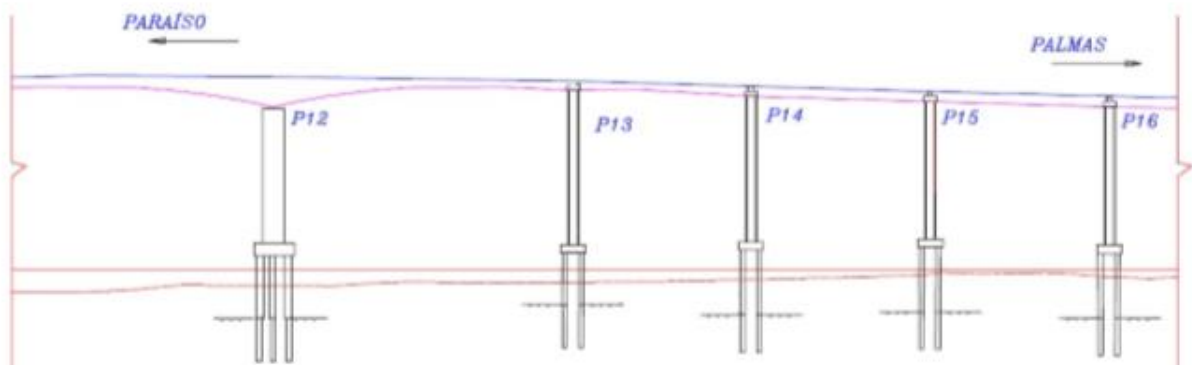
*LOCALIZAÇÃO PILARES P1 A P6*



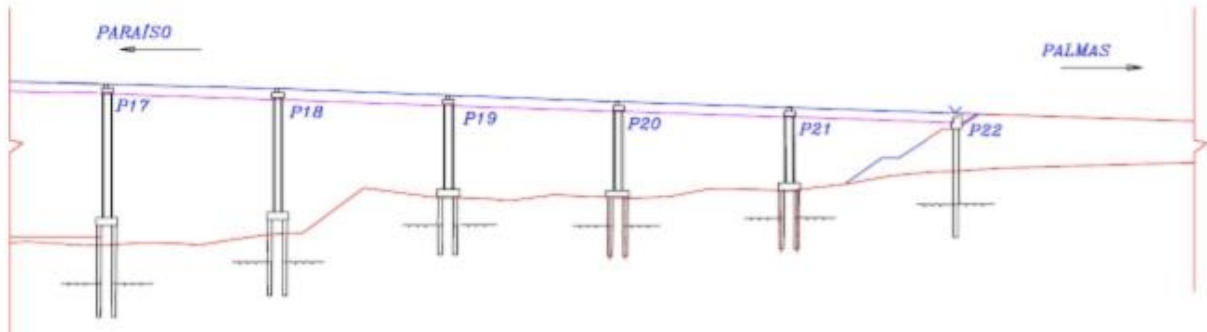
*LOCALIZAÇÃO PILARES P7 A P11*



*LOCALIZAÇÃO PILARES P12 A P16*



## LOCALIZAÇÃO PILARES P17 A P22





| Tipos de Danos               | Valores de Fatores de Intensidade  |
|------------------------------|--|
| Cobrimento deficiente        | 1 → menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura.<br>2 → menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões.<br>3 → deficiente, com armaduras expostas em extensões significativas. |
| Corrosão de armaduras        | 2 → manifestações leves, pequenas manchas.<br>3 → grandes manchas e/ou fissuras de corrosão.<br>4 → corrosão acentuada da armadura principal, com perda relevante de seção (> 20% do diâmetro).  |
| Desagregação                 | 2 → início de manifestação.<br>3 → manifestações leves, início de estofamento do concreto.<br>4 → por perda acentuada de seção e esfrelamento do concreto.   |
| Desplacamento                | 2 → pequenas escamações do concreto.<br>3 → lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura.<br>4 → lascamento acentuado com perda relevante de seção.   |
| Eflorescência                | 1 → início de manifestações.<br>2 → manchas de pequenas dimensões.<br>3 → manchas acentuadas, em grandes extensões.<br>4 → grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).   |
| Falha de concretagem         | 1 → superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça.<br>2 → significativa em relação às dimensões da peça.<br>3 → significativa em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura.<br>4 → perda relevante da seção transversal da peça (> 20% da área).       |
| Fissuras                     | 1 → abertura menores do que as máximas previstas em norma.<br>2 → estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma.<br>3 → aberturas excessivas; estabilizadas.<br>4 → aberturas excessivas; não estabilizadas   |
| Impermeabilização Deficiente | 2 → danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização.<br>3 → descontinuada, degradada em alguns pontos (pontos de infiltração).<br>4 → degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.  |
| Infiltração de água          | 1 → indícios de umidade.<br>2 → pequenas manchas.<br>3 → grandes manchas.<br>4 → generalizada.   |

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Manchas                          | <p>2→ manchas escuras de pouca extensão, mas significativas (&lt; 50% da área visível do elemento estrutural).</p> <p>3→ manchas escuras de grande extensão (&gt;50%).</p> <p>4→ manchas escuras em todo o elemento estrutural (100%).</p>  |
| Obstrução de juntas de dilatação | <p>2→ perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes.</p> <p>3→ presença de material não compressível na junta; incidência significativa de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes.</p> <p>4→ fissuras em lajes e paredes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.</p> |

## ANEXO D – Quadros de Famílias de Elementos Estruturais e Fatores de Ponderação (Fp)

**PILARES**

| Nome do Elemento →                  |        |       |     |                     |
|-------------------------------------|--------|-------|-----|---------------------|
| Local →                             |        |       |     |                     |
| Danos                               | $F_p$  | $F_i$ | $D$ | Croquis/Observações |
| Carbonatação do concreto            | 3      |       |     |                     |
| Cobrimento deficiente               | 3      |       |     |                     |
| Contaminação por cloretos           | 4      |       |     |                     |
| Corrosão de armaduras               | 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 excessiva na infraestrutura | 4      |       |     |                     |

\* Consultar Anexo D

**BARREIRAS NEW JERSEY**

| Nome do elemento →        |        |       |     |                     |
|---------------------------|--------|-------|-----|---------------------|
| Local →                   |        |       |     |                     |
| Danos                     | $F_p$  | $F_i$ | $D$ | Croquis/Observações |
| Carbonatação do concreto  | 3      |       |     |                     |
| Cobrimento deficiente     | 3      |       |     |                     |
| Contaminação por cloretos | 4      |       |     |                     |
| Corrosão de armaduras     | 5      |       |     |                     |
| Desagregação              | 3      |       |     |                     |
| Desplacamento             | 3      |       |     |                     |
| Eflorescência             | 2      |       |     |                     |
| Falha de concretagem      | 2      |       |     |                     |
| Fissuras                  | 2 a 5* |       |     |                     |
| Manchas                   | 3      |       |     |                     |
| Sinais de esmagamento     | 4      |       |     |                     |

\* Consultar Anexo D

**JUNTAS DE DILATAÇÃO**

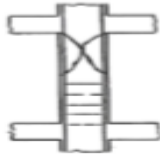
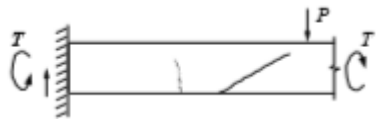

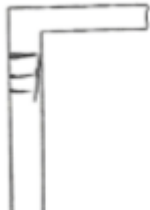
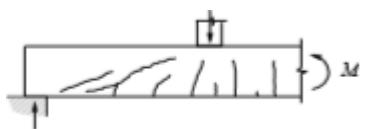

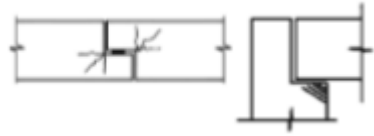
|  |                         |                         |                       |                            |
|--|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Nome do elemento</b> →                      |                         |                         |                       |                            |
| <b>Local</b> →                                 |                         |                         |                       |                            |
| <b>Danos</b>                                   | <b><math>F_p</math></b> | <b><math>F_i</math></b> | <b><math>D</math></b> | <b>Croquis/Observações</b> |
| Obstrução de junta                             | 5                       |                         |                       |                            |
| Desgaste do material de preenchimento da junta | 5                       |                         |                       |                            |
| Umidade  | 5                       |                         |                       |                            |




**PISTA DE ROLAMENTO E PASSEIO LATERAL**

|                           |                         |                         |                       |                            |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Nome do elemento</b> → |                         |                         |                       |                            |
| <b>Local</b> →            |                         |                         |                       |                            |
| <b>Danos</b>              | <b><math>F_p</math></b> | <b><math>F_i</math></b> | <b><math>D</math></b> | <b>Croquis/Observações</b> |
| Descontinuidade           | 5                       |                         |                       |                            |
| Desgaste superficial      | 5                       |                         |                       |                            |
| Desgaste da sinalização   | 5                       |                         |                       |                            |

ANEXO E - Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados ( $F_p$ )

|                   | Fissuras                            | Descrição  | Croquis | $F_p$ |
|-------------------|-------------------------------------|--|---------|-------|
| Estado Plástico   | De retração plástica do Concreto    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comuns em lajes e paredes.</li> <li>- Aproximadamente paralelas, superficiais e afastadas entre si de 0,3 a 1 m.</li> </ul>   |         | 2     |
|                   | De assentamento do concreto         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sobre as armaduras.</li> <li>- Em pilares, ficam abaixo dos estribos.</li> <li>- Interação com armaduras vizinhas.</li> </ul>   |         | 3     |
|                   | De movimentação de fôrmas           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- indicam posicionamento e/ou fixação incorretos ou resistência insuficiente de fôrmas/escoramentos</li> </ul>  |         | 3     |
| Estado Endurecido | De retração do concreto por secagem | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fissuras em pilares e/ou vigas, por diferença grande de rigidezes (a).</li> <li>- Aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces (b).</li> <li>- Indicam restrição de movimentos.</li> <li>- Profundidade reduzida.</li> <li>- Aberturas &lt; 0,1 a 0,2 mm.</li> </ul> |         | 3     |
|                   | Mapeadas                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes.</li> <li>- Abertura e extensão reduzidas.</li> <li>- Superfícies de concreto com desempenho excessivo.</li> <li>- Danos só estéticos, em geral.</li> </ul>   |         | 2     |
|                   | De variações de temperatura         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Em geral, normais ao eixo de elementos lineares,</li> <li>- Indicam restrição de movimento por mau funcionamento de juntas de dilatação ou sua ausência.</li> </ul>   |         | 3     |

|                                     | Fissuras  | Descrição  | Croquis   | $F_p$ |
|-------------------------------------|---|--|---|-------|
| Erros de Projeto/Execução ou Cargas | <b>De flexão</b>                                  | - Normais ao eixo, em trechos de momento fletor elevado e com boa aderência aço-concreto.  |    | 4     |
|                                     | <b>De força cortante e flexão</b>                 | - Mesma inclinação nas duas faces.<br>- Podem entrar na zona de compressão e se dirigir aos apoios.  |     | 4     |
|                                     | <b>De flexão cortante e torção</b>                | - inclinações diferentes nas faces laterais, com menor abertura da fissura em uma das faces.   |     | 4     |
|                                     | <b>De flexo-tração em pilares</b>                 | - Normais ao eixo do pilar na face tracionada e paralelas na face comprimida: podem indicar esmagamento do concreto.<br>- Mais próximas de extremidades com maior momento. |   | 5     |
|                                     | <b>De compressão</b>                              | - Paralelas ao eixo bi-diagonais no centro iminência de ruptura.<br>- Indicam espaçamento excessivo ou deslocamento de estribos.   |   | 5     |
|                                     | <b>De carga concentrada em área reduzida</b>      | - Em apoios de pontes, estruturas pré-moldadas e apoios indiretos.<br>- Indicam armadura deficiente de fretagem e mau detalhamento.  |  | 3     |
|                                     | <b>Em apoios do tipo Gerber (vigas e pilares)</b> | - Comuns em pontes e estruturas pré-moldadas.<br>- Indicam deficiência ao movimento em aparelhos de apoio e/ou detalhamento inadequado.                                    |   | 3     |

|                                     |  |   |   |
|-------------------------------------|--|---|---|
| <p><b>De Flexão em lajes</b></p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Na face inferior, saindo dos cantos e paralelas a bordos com continuidade ou vãos maiores.</li> <li>- Na face superior, paralelas a bordos com continuidade.</li> </ul> |   | 4 |
| <p><b>De momentos volventes</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Em cantos de lajes extremas, podendo surgir nas duas faces.</li> <li>- Influenciadas por variações de temperatura e retração.</li> </ul>                                |  | 3 |
| <p><b>De punção</b></p>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Traçado circunferencial e/ou radial em torno do pilar.</li> </ul>   |  | 5 |

## Documentos candidatos

pecc.unb.br/wp-conte... [4,47%]  
 repositorio.unb.br/b... [4,47%]  
 www2.ufersa.edu.br/p... [2,34%]  
 engenhariacivilftc.f... [0,58%]  
 passeidireto.com/arq... [0,52%]  
 pepsic.bvsalud.org/p... [0,35%]  
 pt.scribd.com/docume... [0%]  
 pt.scribd.com/docume... [0%]

Arquivo de entrada: TCC II - Cópia.docx (6068 termos)

| Arquivo encontrado      |                            | Total de termos | Termos comuns | Similaridade (%) |  |
|-------------------------|----------------------------|-----------------|---------------|------------------|--|
| pecc.unb.br/wp-conte... | <a href="#">Visualizar</a> | 29056           | 1506          | 4,47             |  |
| repositorio.unb.br/b... | <a href="#">Visualizar</a> | 29116           | 1506          | 4,47             |  |
| www2.ufersa.edu.br/p... | <a href="#">Visualizar</a> | 15287           | 489           | 2,34             |  |
| engenhariacivilftc.f... | <a href="#">Visualizar</a> | 2173            | 48            | 0,58             |  |
| passeidireto.com/arq... | <a href="#">Visualizar</a> | 291             | 33            | 0,52             |  |
| pepsic.bvsalud.org/p... | <a href="#">Visualizar</a> | 7787            | 49            | 0,35             |  |
| pt.scribd.com/docume... | <a href="#">Visualizar</a> | 183             | 0             | 0                |  |
| jornaldotocantins.co... | -                          | -               | -             | -                | Download falhou.<br>HTTP response<br>code: 0 |
| pt.scribd.com/docume... | <a href="#">Visualizar</a> | 179             | 0             | 0                |  |
| publicacoesacademica... | -                          | -               | -             | -                | Download falhou.<br>HTTP response<br>code: 0 |