



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS – UFG**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL – EEC**  
**CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL – CMEC**

**PRISCILLA EUQUERES**

**METODOLOGIA DE INSPEÇÃO EM ESTRUTURAS DE PONTES**  
**DE CONCRETO ARMADO**

Goiânia

2011



**Termo de Ciência e de Autorização para Disponibilizar as Teses e Dissertações Eletrônicas (TEDE) na Biblioteca Digital da UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás-UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações - BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**      ☒ **Dissertação**      ☐ **Tese**

**2. Identificação da Tese ou Dissertação**

|                                                                                                                     |                                                                    |         |                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------|
| Autor(a):                                                                                                           | Priscilla Euqueres                                                 |         |                                |
| CPF:                                                                                                                | 004.681.461-21                                                     | E-mail: | priscilla_euqueres@hotmail.com |
| Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não |                                                                    |         |                                |
| Vínculo Empregatício do autor                                                                                       | Autônomo                                                           |         |                                |
| Agência de fomento:                                                                                                 | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior        | Sigla:  | CAPES                          |
| País:                                                                                                               | Brasil                                                             | UF:     | GO                             |
| CNPJ:                                                                                                               |                                                                    |         |                                |
| Título:                                                                                                             | Metodologia de Inspeção em Estruturas de Pontes de Concreto Armado |         |                                |
| Palavras-chave: Manifestações Patológicas, Inspeções, Grau de Deterioração, Pontes.                                 |                                                                    |         |                                |
| Título em outra língua: Methodology for Inspection of Concrete Bridges                                              |                                                                    |         |                                |
| Palavras-chave em outra língua: Damages, Inspections, Degree of deterioration, Bridges.                             |                                                                    |         |                                |
| Área de concentração:                                                                                               | Materiais de Construção                                            |         |                                |
| Data defesa:                                                                                                        | 25/11/2011                                                         |         |                                |
| Programa de Pós-Graduação:                                                                                          | Engenharia Civil                                                   |         |                                |
| Orientador(a):                                                                                                      | Prof. Dr. Enio José Pazini Figueiredo                              |         |                                |
| E-mail:                                                                                                             | epazini@terra.com.br                                               |         |                                |
| Co-orientador(a):                                                                                                   | Prof. Dr. João Henrique da Silva Rêgo                              |         |                                |
| CPF:                                                                                                                | 831.410.141-91                                                     | E-mail: | jhenriquerego@ig.com.br        |

**3. Informações de acesso ao documento:**

Liberação para disponibilização?<sup>1</sup>      ☒ total      ☐ parcial

Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

- ☐ Capítulos. Especifique: \_\_\_\_\_
- ☐ Outras restrições: \_\_\_\_\_

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação. O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

  
Assinatura do(a) autor(a)

Data: 19 / 02 / 2011

<sup>1</sup> Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.

PRISCILLA EUQUERES

**METODOLOGIA DE INSPEÇÃO EM ESTRUTURAS DE PONTES  
DE CONCRETO ARMADO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil da EEC/UFG para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais de Construção.

**Orientador: Profº. Dr. Enio José Pazini Figueiredo**

**Co-orientador: Profº. Dr. João Henrique da Silva Rêgo**

Goiânia  
2011

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
GPT/BC/UFG**

E891m      Euqueres, Priscilla.  
Metodologia de Inspeção em Estruturas de Pontes de  
Concreto Armado [manuscrito] / Priscilla Euqueres. – 2011.  
168 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Enio José Pazini Figueiredo.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,  
Escola de Engenharia Civil, 2011.  
Bibliografia.  
Inclui lista de figuras e tabelas.  
Anexos.

1. Pontes – Estruturas – Inspeções. 2. Pontes – Concreto  
armado. I. Título.

CDU: 624.2/.8



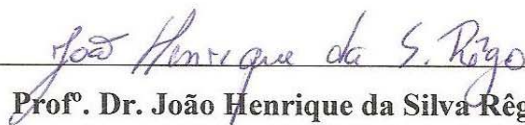
PRISCILLA EUQUERES

**METODOLOGIA DE INSPEÇÃO EM ESTRUTURAS DE PONTES  
DE CONCRETO ARMADO**

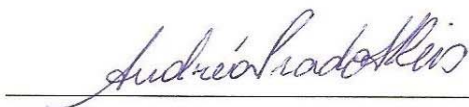
Dissertação apresentada ao Curso de  
Mestrado em Engenharia Civil da EEC/UFG  
para obtenção do Título de Mestre em  
Engenharia Civil e aprovada pela banca  
examinadora, assim composta:



**Prof<sup>o</sup> Dr. Enio J. Pazini Figueiredo (UFG)**  
**Orientador**



**Prof<sup>o</sup> Dr. João Henrique da Silva Rêgo (UnB)**  
**Co-Orientador**



**Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Andrea Prado Abreu Reis Liserre (UFG)**  
**Examinador interno**



**Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Alessandra Luciano Carvalho (AGETOP/PUC-GO)**  
**Examinador externo**

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Fábio Roberto e M<sup>a</sup> Gorett, à minha irmã Laís e aos meus amigos e familiares pelo incentivo, carinho e amor que me dedicaram. E em especial minhas avós que não puderam compartilhar comigo esta vitória.*

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, pela vida, sabedoria e persistência.*

*Aos meus pais e grandes amigos, que sempre apoiaram minhas escolhas e sonhos, enchendo-me de coragem e auto confiança para seguir sempre em frente, por mais complicado que fosse realizar e concretizar um sonho. Com eles muito aprendi e tudo devo.*

*À minha irmã, aos meus avós e demais familiares cujo apoio, amizade e estímulo muito contribuíram para este momento.*

*Aos inesquecíveis Professores: Brandina de Fátima, Jimmu de Azevedo Ikeda, Janes C. A. de Oliveira e Liana de Lucca Jardim Borges, que me apoiaram nesta nova etapa e com os quais aprendi muito.*

*Ao meu orientador Prof. Enio, meu co-orientador Prof. João Henrique e a Dr<sup>a</sup> Alessandra Luciano Carvalho, que com paciência, serenidade e profissionalismo instruíram-me e compartilharam das minhas dificuldades e glórias nesta produção.*

*À AGETOP, FAPEG, UnB e UFG pelo apoio dado à presente pesquisa.*

*Aos meus colegas do Curso de Mestrado, com os quais foi dividido as dificuldades, os anseios, as incertezas e o prazer para construção desta etapa da minha vida.*

*Aos meus muitos amigos, que mesmo estando distantes me apoiaram muito.*

*Obrigada a todos.*

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver e aplicar uma metodologia para inspeção especial das estruturas de pontes de concreto armado por meio da análise quantitativa do grau de deterioração das estruturas para que esta possa servir de embasamento para tomada de decisões relacionadas à reabilitação. Para desenvolver e aplicar a metodologia em estruturas de pontes de concreto armado foram realizados estudos de metodologias de inspeção em estruturas já existentes, adequando-as à estrutura de pontes. Tomou-se como base e modelo a metodologia GDE/UnB em sua última formulação (Fonseca, 2007) e adaptaram-se as tabelas com os elementos a serem analisados, juntamente com as manifestações patológicas que podem ocorrer em cada elemento, prazos para intervenções e intervalos para classificação quanto ao nível de deterioração e os fatores de relevância para cada família de elementos das estruturas de pontes. Para validar a metodologia proposta fez-se um Estudo Piloto, onde foi verificada a necessidade de uma adaptação, envolvendo os cálculos dos graus de deterioração tanto da família quanto da estrutura como um todo. Com as modificações propostas no Estudo Piloto foram feitas outras 11 (onze) inspeções a fim de validar a metodologia proposta. Com os resultados obtidos concluiu-se que a metodologia desenvolvida para inspeções de pontes é válida e de grande importância para que órgãos públicos e vistoriadores tomem decisões quanto ao melhor prazo e melhor elemento estrutural a ser reabilitado, podendo ser ele um elemento isolado, uma ou mais família de elementos ou a estrutura como um todo. Um ponto negativo da metodologia é que, para pontes com extensão maior que 70m, sua utilização fica comprometida, pois os vãos medianos são difíceis de avaliação visual. Entretanto a metodologia pode ser utilizada para que se obtenha uma avaliação preliminar dos elementos visíveis e, após intervenção, pode-se fazer outra análise mais minuciosa utilizando não só os elementos de inspeção rotineira como: binóculos, trena, câmera fotográfica com zoom, entre outros, mas também elementos náuticos, os quais proporcionam ao responsável pela inspeção melhor visualização dos elementos medianos.

**Palavras-chave:** Manifestações Patológicas, Inspeções, Grau de Deterioração, Pontes.

## **ABSTRACT**

The objective this work is to develop and implement a methodology for special inspection on Concrete Bridges through the quantitative analysis of the degree of deterioration of the structures so that it can serve as a basis for making decisions related to the rehabilitation of these structures. In order to develop and apply the methodology on concrete bridges, the existing methods of inspection of concrete structures were studied and adapted to the adapting to the concrete bridges. The methodology was based on GDE/UnB model in their latest formulation (Fonseca,2007) and adapted to the tables with the elements to be analyzed, together with the pathological manifestations that can occur in each element, timing and interventions classification of the level of deterioration and the relevant factors to each family of concrete bridges. A pilot study was proposed to validate the methodology. Results showed that there was a need for further adaptation, to consider the calculations of the degree of deterioration of both the family or the. With the changes proposed in the pilot study were made over 11 (eleven) inspections in order to validate the proposed methodology. With the results obtained it was concluded that the methodology for inspection of bridges is valid and of great importance to public organisms and surveyors to make decisions about the best time and the best item to be rehabilitated, being a single element, as a family elements, or the structure as a whole. One downside is that the methodology for bridges with length greater than 70 meters must be used with caution, because the median openings are difficult to visual assessment. However the methodology can be used in order to obtain basic understanding of the visible elements, and after the intervention, we can make another more detailed analysis using not only the elements of routine inspection as binoculars, measuring tape, camera, among others, but also nautical elements, which provide the best viewing responsible for the inspection of the median elements

**Word-Key:** Damages, Inspections, Degree of deterioration, Bridges.

## LISTA DE FIGURAS

| Figura                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Página |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 2.1 – Fluxograma de atuação para a resolução dos problemas patológicos (FIGUEIREDO, 1989) .....                                                                                                                                                                                            | 27     |
| 2.2 – Estrutura do método para a resolução de problemas patológicos proposta por Lichtenstein (1985) apud Antoniazzi (2008) .....                                                                                                                                                          | 28     |
| 3.1 – Ficha de inspeção expedida integrante do Anexo B, DNIT 010 – PRO (2004) .....                                                                                                                                                                                                        | 33     |
| 3.2 – Fluxograma da metodologia para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) (CASTRO, 1994) .....                                                                                                                                                                         | 39     |
| 4.1 – Exemplo de tabela a ser preenchida para os elementos do tipo Viga, para inspeção em pontes de concreto armado. ....                                                                                                                                                                  | 52     |
| 4.2 – Exemplo de tabela de consulta para adotar o $F_p$ , item fissura (FONSECA, 2007) .....                                                                                                                                                                                               | 53     |
| 4.3 – Fluxograma para avaliação do grau de deterioração de estruturas de Pontes, baseado em Castro (1994) apud Fonseca (2007).....                                                                                                                                                         | 57     |
| 4.4 – Modelo da Ficha Descritiva da Estrutura a ser preenchida na vistoria local.....                                                                                                                                                                                                      | 58     |
| 4.5 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Rio Piracanjuba – GO.....                                                                                                                                                                                                                 | 59     |
| 4.6 – Fotos da Ponte sobre o Rio Piracanjuba localizada na GO 219 entre as cidades de Bela Vista e São Miguel do Passa Quatro. (a) Guarda-rodas montante; (b) Fissuras mapeadas na lateral externa da (a); (c) Vista da ponte – jusante e (d) Vista dos Pilares e tubulões (P3 e P4) ..... | 60     |
| 4.7 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP2 (viga principal 2) à jusante, da Ponte sobre o Rio Piracanjuba – GO219 .....                                                                                                                                                         | 62     |
| 4.8 – Foto ilustrativa da corrosão da armadura localizada na laje (LB2) da Ponte sobre o Rio Piracanjuba – GO 219.....                                                                                                                                                                     | 64     |
| 5.1 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Ribeirão S <sup>ta</sup> Maria – GO .....                                                                                                                                                                                                 | 67     |

| <b>Figura</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Página</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 5.2 – Fotos da Ponte sobre o Ribeirão S <sup>ta</sup> . Maria localizada na GO 309 entre as cidades de Itumbiara a Buriti Alegre. (a) Vista da chegada na Ponte – Vista de Itumbiara-GO; (b) Guarda-Rodas à Jusante do Ribeirão; (c) Vista inferior da ponte; (d) Vista lateral à montante da Ponte .....                                                                | 68            |
| 5.3 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP2 (viga principal 2) à jusante, da Ponte sobre o Rio S <sup>ta</sup> . Maria – GO309 .....                                                                                                                                                                                                                           | 69            |
| 5.4 – (a) Manchas de Eflorescência na Cortina; (b) Mancha de Eflorescência na LC da Ponte sobre o Ribeirão S <sup>ta</sup> . Maria – GO 309 .....                                                                                                                                                                                                                        | 72            |
| 5.5 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Rio São Tomás – GO .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 73            |
| 5.6 – Fotos da Ponte sobre o Rio São Tomás localizada na GO 164 entre as cidades de Itumbiara e S <sup>ta</sup> . Helena. (a) Vista superior da Ponte; (b) Guarda-Rodas à Jusante do Rio; (c) Vista de danos na Laje em Balanço (à jusante); (d) e (e) Vista do inferior da Ponte; (f) Aparelho de Apoio danificado .....                                                | 74            |
| 5.7 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP1 (viga principal 1) à jusante, da Ponte sobre o Rio São Tomás – GO164 .....                                                                                                                                                                                                                                         | 75            |
| 5.8 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Rio Verdão – GO .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 78            |
| 5.9 – Fotos da Ponte sobre o Rio Verdão localizada na GO 325 entre as cidades de Sta. Helena e . (a) Vista superior da Ponte; (b) Vista da Lateral à montante do Rio; (c) e (d) Vista de danos na Laje em Balanço (à jusante); (e) Formação de estalactites na Laje central. ....                                                                                        | 79            |
| 5.10 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento LB2 (laje me balanço 2) à jusante, da Ponte sobre o Rio Verdão – GO325. ....                                                                                                                                                                                                                                          | 80            |
| 5.11 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Ribeirão Cantagalo – GO .....                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 83            |
| 5.12 – Fotos da Ponte sobre o Ribeirão Cantagalo localizada na GO 206 entre as cidades de Cachoeira Dourada e Nilópolis. (a) Vista superior da Ponte; (b) Armadura exposta na Laje em balanço à Jusante do Rio; (c) Vista de danos na Laje em Balanço (à montante); (d) Armadura exposta no encontro pilar e fundação (à montante); (e) Vista do inferior da Ponte ..... | 84            |
| 5.13 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP1 (viga principal 1) à jusante, da Ponte sobre o Ribeirão Cantagalo – GO206 .....                                                                                                                                                                                                                                   | 85            |
| 5.14 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Rio Campanha – GO .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 88            |

| <b>Figura</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Página</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 5.15 – Fotos da Ponte sobre o Rio Campanha localizada na GO 206 após a cidade de Almerindonópolis. (a) Vista superior da Ponte; (b) Armadura exposta encontro viga/pilar e AA muito fissurado; (c) Vista de falha de concretagem e armadura exposta no fundo da VP2 (à jusante); (d) AA de outro pilar também muito fissurado; (e) Vista do inferior da Ponte .....                          | 89            |
| 5.16 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento LB2 (laje em balanço 2) à montante, da Ponte sobre o Rio Campanha – GO206 .....                                                                                                                                                                                                                                                           | 90            |
| 5.17 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Rio Meia Ponte – GO .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 93            |
| 5.18 – Fotos da Ponte sobre o Rio Meia Ponte localizada na GO 206 entre Cachoeira Dourada e Almeirindonópolis. (a) Vista superior da Ponte; (b) Vista inferior da ponte; (c) Vista lateral (à jusante) da ponte; (d) AA com deformações excessivas; (e) Vista de armadura exposta no topo da fundação; (f) armadura corroída na lateral externa da Viga Principal .....                      | 94            |
| 5.19 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento LB2 (laje em balanço 2) à montante, da Ponte sobre o Rio Meia Ponte – GO206. ....                                                                                                                                                                                                                                                         | 95            |
| 5.20 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Ribeirão Capivara (Goiânia-Nerópolis) – GO. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 99            |
| 5.21 – Fotos da Ponte sobre o Ribeirão Capivara localizada na GO 080 sentido de Goiânia para Nerópolis. (a) Vista superior da Ponte; (b) Armadura exposta no Guarda-rodas localizado à montante; (c) Vista de danos na pista; (d) Mancha de corrosão na LB1 à jusante; (e) Vista de manchas escuras e sinais de eflorescência no encontro da VP1/VT/LC; (f) Vista do inferior da Ponte ..... | 100           |
| 5.22 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP1 (viga principal 1) à jusante, da Ponte sobre o Ribeirão Capivara – GO080 .....                                                                                                                                                                                                                                                        | 101           |
| 5.23 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Ribeirão Capivara (Nerópolis-Goiânia) – GO .....                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 104           |
| 5.24 – Fotos da Ponte sobre o Ribeirão Capivara localizada na GO 080 sentido de Nerópolis para Goiânia. (a) Vista superior da Ponte; (b) Falha de concretagem na VP2 à jusante; (c) Sinais de esmagamento no P2 à jusante; (d) Mancha de eflorescência na LB1 à montante; (e) Vista do inferior da Ponte .....                                                                               | 105           |
| 5.25 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP2 (viga principal 2) à jusante, da Ponte sobre o Ribeirão Capivara – GO080 .....                                                                                                                                                                                                                                                        | 106           |
| 5.26 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Ribeirão Cachoeira .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 109           |



| <b>Figura</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Página</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 5.27 – Fotos da Ponte sobre o Ribeirão Cachoeira localizada na GO 222 sentido Nova Veneza para Inhumas. (a) Vista superior da Ponte; (b) Fissuras em AA; (c) Desplacamento de concreto na base do P2 à montante; (d) Mancha de corrosão na eflorescência na LB2 à montante; (e) Vista do inferior da Ponte. | 110           |
| 5.28 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento LB2 (laje em balanço 2) à jusante, da Ponte sobre o Ribeirão Cachoeira – GO222. ....                                                                                                                                                                     | 111           |
| 5.29 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Ribeirão Capoeirão .....                                                                                                                                                                                                                                  | 114           |
| 5.30 – Fotos da Ponte sobre o Ribeirão Capoeirão localizada na GO 222 sentido Deuslândia para Inhumas. (a) Vista superior da Ponte; (b) Vista Lateral da Ponte (montante); (c) Fissuras em AA (d) Desplacamento em Viga Principal; (e) Armadura exposta em Laje Central .....                               | 115           |
| 5.31 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP1 (viga principal 1) à montante, da Ponte sobre o Ribeirão Capoeirão – GO 222. ....                                                                                                                                                                    | 116           |
| 5.32 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Rio Meia Ponte .....                                                                                                                                                                                                                                      | 119           |
| 5.33 – Fotos da Ponte sobre o Rio Meia Ponte localizada na GO 222 município de Inhumas. (a) Vista superior da Ponte; (b) Vista Lateral da Ponte (montante); (c) Desplacamento no Pilar P1; (d) Vista inferior da ponte. ....                                                                                | 120           |
| 5.34 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento P1 (pilar 1) à montante, da Ponte sobre o Rio Meia Ponte – GO222. ....                                                                                                                                                                                   | 121           |

## LISTA DE TABELAS

| Tabelas                                                                                                                                                                                                              | Página |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 2.1 – Descrição sumarizada de problemas encontrados na etapa de projeto (ANDRADE E COSTA E SILVA, 2005) .....                                                                                                        | 25     |
| 2.2 – Descrição das patologias mais comuns referentes à etapa de uso e manutenção (ANDRADE E COSTA E SILVA, 2005) .....                                                                                              | 26     |
| 2.3 – Indicação de intervalos de inspeção (em anos) (FIP, 1998) .....                                                                                                                                                | 30     |
| 3.1 – Instruções para atribuição de notas de avaliação em pontes. DNIT 010 – PRO (2004) .....                                                                                                                        | 34     |
| 3.2 – Valores do LIM (KLEIN ET AL, 1991) .....                                                                                                                                                                       | 37     |
| 3.3 – Classificação do GD para Obras de Arte (KLEIN ET AL, 1991) .....                                                                                                                                               | 38     |
| 3.4 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento.(CASTRO, 1994) ...                                                                                                                                        | 41     |
| 3.5 – Fator de relevância estrutural (Fr) adotado por Castro (1994) .....                                                                                                                                            | 42     |
| 3.6 – Classificação do nível de deterioração da estrutura segundo,Castro (1994)                                                                                                                                      | 43     |
| 3.7 – Fator de ponderação dos Danos ( $F_p$ ) (Lopes, 1998) .....                                                                                                                                                    | 45     |
| 3.8 – Classificação dos níveis de deterioração (para elemento ou estrutura geral). (FONSECA, 2007) .....                                                                                                             | 47     |
| 4.1 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento. (FONSECA, 2007)                                                                                                                                          | 49     |
| 4.2 – Classificação dos níveis de deterioração das estruturas FONSECA (2007)                                                                                                                                         | 51     |
| 4.3 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento. Proposta por (Euqeres, 2011) .....                                                                                                                       | 54     |
| 4.4 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Rio Piracanjuba. .... | 62     |
| 4.5 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura. Proposta por Euqeres (2011) .....                                                                                                                       | 63     |

**Tabelas****Página**

|                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.6 – Resultados obtidos para Somatório do Grau de dano ( $\sum D$ ), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Rio Piracanjuba, com adaptação no cálculo do $G_{df}$ . ..... | 65 |
| 5.1 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano ( $\sum D$ ), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão S <sup>ta</sup> . Maria. ....                      | 70 |
| 5.2 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Ribeirão S <sup>ta</sup> . Maria. ....                                                                                                                            | 71 |
| 5.3 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Ribeirão S <sup>ta</sup> . Maria                                                                                                                                                                          | 72 |
| 5.4 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano ( $\sum D$ ), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão São Tomás. ....                                    | 76 |
| 5.5 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Rio São Tomás .....                                                                                                                                               | 76 |
| 5.6 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Rio São Tomás .....                                                                                                                                                                                       | 76 |
| 5.7 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano ( $D$ ), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Rio Verdão. ....                                                 | 80 |
| 5.8 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Rio Verdão. ....                                                                                                                                                  | 81 |
| 5.9 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Rio Verdão .....                                                                                                                                                                                          | 82 |
| 5.10 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano ( $D$ ), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Cantagalo. ....                                        | 85 |
| 5.11 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Cantagalo. ....                                                                                                                                         | 86 |
| 5.12 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Ribeirão Cantagalo .....                                                                                                                                                                                 | 87 |
| 5.13 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano ( $D$ ), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Rio Campanha .....                                              | 90 |

| <b>Tabelas</b>                                                                                                                                                                                                                | <b>Página</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 5.14 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Rio Campanha .....                                                                                                         | 91            |
| 5.15 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Rio Campanha .....                                                                                                                                                 | 92            |
| 5.16 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Rio Meia Ponte (GO 206) ..... | 96            |
| 5.17 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Rio Meia Ponte (GO 206) .....                                                                                              | 96            |
| 5.18 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Rio Meia Ponte (GO 206) .....                                                                                                                                      | 98            |
| 5.19 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Capivara .....       | 102           |
| 5.20 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Capivara .....                                                                                                    | 102           |
| 5.21 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Ribeirão Capivara (sentido Goiânia-Nerópolis) .....                                                                                                                | 103           |
| 5.22 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Capivara .....       | 107           |
| 5.23 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Capivara .....                                                                                                    | 107           |
| 5.24 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Ribeirão Capivara (sentido Nerópolis-Goiânia) .....                                                                                                                | 108           |
| 5.25 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Cachoeira .....      | 112           |
| 5.26 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Cachoeira .....                                                                                                   | 112           |
| 5.27 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Ribeirão Cachoeira .....                                                                                                                                           | 113           |

| <b>Tabelas</b>                                                                                                                                                                                                          | <b>Página</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 5.28 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Capoeirão..... | 117           |
| 5.29 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Capoeirão .....                                                                                             | 117           |
| 5.30 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Ribeirão Capoeirão .....                                                                                                                                     | 118           |
| 5.31 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Rio Meia Ponte .....    | 122           |
| 5.32 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Rio Meia Ponte .....                                                                                                 | 122           |
| 5.33 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Rio Meia Ponte (GO 222) .....                                                                                                                                | 123           |

## SUMÁRIO

| Capítulo                                                                                 | Página    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                | <b>20</b> |
| 1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA .....                                                            | 20        |
| 1.2 OBJETIVO GERAL .....                                                                 | 21        |
| 1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO .....                                                            | 21        |
| 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....                                                       | 22        |
| <b>2 AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO .....</b>                                      | <b>23</b> |
| 2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS .....                                                         | 23        |
| 2.2 ESTRATÉGIAS DE INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS .....                              | 27        |
| <b>3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE INSPEÇÃO DE<br/>ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO .....</b> | <b>32</b> |
| 3.1 METODOLOGIA DNIT 010 – PRO (2004) .....                                              | 32        |
| 3.2 METODOLOGIA DESENVOLVIDA POR KLEIN ET AL (1991) .....                                | 35        |
| <b>3.2.1 Principais Aspectos .....</b>                                                   | <b>35</b> |
| <b>3.2.2 Formulação .....</b>                                                            | <b>35</b> |
| 3.2.2.1 Fator de Intensidade do Dano (FI) .....                                          | 36        |
| 3.2.2.2 Fator de Relevância Estrutural (FR) .....                                        | 36        |
| 3.2.2.3 Fator de Gravidade do Problema (FG) .....                                        | 36        |
| 3.2.2.4 Grau de Risco do Elemento (GRE) .....                                            | 36        |
| 3.2.2.5 Grau de Deterioração da Família de Elementos (GDF) .....                         | 37        |
| 3.2.2.6 Grau de Deterioração da Estrutura (GD) .....                                     | 38        |
| 3.3 METODOLOGIA GDE/UnB .....                                                            | 38        |
| <b>3.3.1 Principais Aspectos .....</b>                                                   | <b>39</b> |
| <b>3.3.2 Formulação .....</b>                                                            | <b>40</b> |
| 3.3.2.1 Fator de Ponderação ( $F_p$ ) .....                                              | 40        |

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.2.2 Fator de Intensidade do Dano ( $F_i$ ) .....                         | 40        |
| 3.3.2.3 Grau do Dano (D) .....                                               | 40        |
| 3.3.2.4 Grau de Deterioração de um Elemento ( $G_{de}$ ) .....               | 41        |
| 3.3.2.5 Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ) .....      | 42        |
| 3.3.2.6 Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) .....                    | 42        |
| 3.4 EVOLUÇÕES DA METODOLOGIA GDE/UnB .....                                   | 43        |
| <b>3.4.1 Modificações por Lopes (1998) .....</b>                             | <b>43</b> |
| <b>3.4.2 Modificação por Boldo (2002) .....</b>                              | <b>45</b> |
| <b>3.4.3 Modificações por Fonseca (2007) .....</b>                           | <b>46</b> |
| <b>4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL .....</b>                                      | <b>48</b> |
| 4.1 METODOLOGIA GDE/ UnB .....                                               | 48        |
| 4.1.1 FORMULAÇÕES DA METODOLOGIA GDE/ UnB .....                              | 48        |
| 4.2 ADEQUAÇÃO DOS ITENS DA METODOLOGIA GDE/UnB À<br>INSPEÇÃO DE PONTES ..... | 51        |
| 4.3 FORMULAÇÃO ADOTADA .....                                                 | 54        |
| 4.4 ADEQUAÇÃO DOS ITENS DO FATOR DE RELEVÂNCIA<br>ESTRUTURAL .....           | 55        |
| 4.5 PROCEDIMENTO PARA INSPEÇÃO .....                                         | 55        |
| <b>4.5.1 Procedimentos Gerais .....</b>                                      | <b>56</b> |
| <b>4.5.2 Equipamentos Para Inspeção .....</b>                                | <b>56</b> |
| <b>4.5.3 Etapas da Inspeção .....</b>                                        | <b>57</b> |
| <b>4.6 Estudo Piloto .....</b>                                               | <b>59</b> |
| <b>4.6.1 Resultados Encontrados .....</b>                                    | <b>60</b> |
| <b>4.6.2 Conclusões do Estudo Piloto .....</b>                               | <b>63</b> |
| <b>5 ESTUDOS DE CASO .....</b>                                               | <b>66</b> |
| 5.1 ESTUDO DA PONTE SOBRE O RIBEIRÃO SANTA MARIA .....                       | 67        |

|                                                                                                                                      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5.1.1 Resultados Encontrados .....</b>                                                                                            | <b>68</b>  |
| <b>5.1.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Ribeirão S<sup>ta</sup>. Maria .....</b>                | <b>71</b>  |
| <b>5.2 ESTUDO DA PONTE SOBRE O RIO SÃO TOMÁS .....</b>                                                                               | <b>73</b>  |
| <b>5.2.1 Resultados Encontrados .....</b>                                                                                            | <b>75</b>  |
| <b>5.2.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Rio São Tomás.....</b>                                  | <b>77</b>  |
| <b>5.3 ESTUDO DA PONTE SOBRE O RIO VERDÃO .....</b>                                                                                  | <b>78</b>  |
| <b>5.3.1 Resultados Encontrados .....</b>                                                                                            | <b>80</b>  |
| <b>5.3.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Rio Verdão .....</b>                                    | <b>81</b>  |
| <b>5.4 ESTUDO DA PONTE SOBRE O RIBEIRÃO CANTAGALO .....</b>                                                                          | <b>83</b>  |
| <b>5.4.1 Resultados Encontrados .....</b>                                                                                            | <b>85</b>  |
| <b>5.4.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Ribeirão Cantagalo .....</b>                            | <b>86</b>  |
| <b>5.5 ESTUDO DA PONTE SOBRE O RIO CAMPANHA .....</b>                                                                                | <b>88</b>  |
| <b>5.5.1 Resultados Encontrados .....</b>                                                                                            | <b>90</b>  |
| <b>5.5.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Rio Campanha .....</b>                                  | <b>91</b>  |
| <b>5.6 ESTUDO DA PONTE SOBRE O RIO MEIA PONTE (GO 206) .....</b>                                                                     | <b>93</b>  |
| <b>5.6.1 Resultados Encontrados .....</b>                                                                                            | <b>95</b>  |
| <b>5.6.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Rio Meia Ponte (GO 206) .....</b>                       | <b>97</b>  |
| <b>5.7 ESTUDO DA PONTE SOBRE O RIBEIRÃO CAPIVARA (SENTIDO GOIÂNIA-NERÓPOLIS) .....</b>                                               | <b>99</b>  |
| <b>5.7.1 Resultados Encontrados .....</b>                                                                                            | <b>101</b> |
| <b>5.7.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Ribeirão Capivara (Sentido Goiânia-Nerópolis) .....</b> | <b>103</b> |
| <b>5.8 ESTUDO DA PONTE SOBRE O RIBEIRÃO CAPIVARA (SENTIDO NERÓPOLIS-GOIÂNIA) .....</b>                                               | <b>104</b> |



|                                                                                                                                      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5.8.1 Resultados Encontrados .....</b>                                                                                            | <b>106</b> |
| <b>5.8.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Ribeirão Capivara (Sentido Nerópolis-Goiânia) .....</b> | <b>108</b> |
| <b>5.9 ESTUDO DA PONTE SOBRE O RIBEIRÃO CACHOEIRA .....</b>                                                                          | <b>109</b> |
| <b>5.9.1 Resultados Encontrados .....</b>                                                                                            | <b>111</b> |
| <b>5.9.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Ribeirão Cachoeira .....</b>                            | <b>113</b> |
| <b>5.10 ESTUDO DA PONTE SOBRE O RIBEIRÃO CAPOEIRÃO .....</b>                                                                         | <b>114</b> |
| <b>5.10.1 Resultados Encontrados .....</b>                                                                                           | <b>116</b> |
| <b>5.10.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Ribeirão Capoeirão .....</b>                           | <b>118</b> |
| <b>5.11 ESTUDO DA PONTE SOBRE O RIO MEIA PONTE (GO 222) .....</b>                                                                    | <b>119</b> |
| <b>5.11.1 Resultados Encontrados .....</b>                                                                                           | <b>121</b> |
| <b>5.11.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Rio Meia Ponte (GO 222) .....</b>                      | <b>122</b> |
| <b>6 CONCLUSÕES .....</b>                                                                                                            | <b>124</b> |
| <b>6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>                                                                                    | <b>125</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                                                              | <b>127</b> |
| <b>ANEXO A .....</b>                                                                                                                 | <b>129</b> |
| <b>ANEXO B .....</b>                                                                                                                 | <b>131</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

O uso do concreto armado, no Brasil, iniciou-se no começo do século XX e foi intensificado a partir da década de 50, fruto do crescente êxodo rural de pessoas migrando para as capitais em busca de melhores oportunidades.

Este crescimento, por sua vez, demandou um número cada vez maior de obras de infraestrutura urbana, tais como: pontes, viadutos etc. O comércio começou a crescer vertiginosamente, necessitando de mais rodovias, ferrovias, portos e aeroportos.

Muitas dessas obras de infraestrutura (pontes, viadutos, etc.) citadas acima, foram construídas nas décadas de 70 e 80. O processo de aparecimento de sérios problemas de desempenho estrutural relacionados à deterioração do concreto armado, nessas obras, foi acelerado por algumas práticas construtivas que não enfatizavam a qualidade, especificações insuficientes sobre durabilidade e a falta de manutenção periódica.

As estruturas em concreto armado, quando bem projetadas, executadas e utilizadas devem suportar, além da agressividade do ambiental, as ações mecânicas ao longo de sua vida útil para a qual foi projetada.

No entanto, sabe-se que muitas estruturas apresentam degradação devido ao meio ambiente no qual estão inseridas, havendo assim necessidade de recuperação anterior ao previsto. Deste modo há uma preocupação entre o meio técnico e acadêmico em estudar os mecanismos de degradação das estruturas de concreto armado a fim de evitar a deterioração precoce das mesmas, podendo assim manter uma cultura de manutenção, em especial a preventiva, dando suporte e embasamento aos órgãos responsáveis pelas obras públicas, nos níveis federal, estadual e municipal em seus programas de conservação e manutenção de obras públicas.

Na malha rodoviária brasileira existem pontes de diferentes idades, projetadas e dimensionadas segundo diferentes critérios e solicitadas a um tráfego sempre crescente. Esse conjunto de obras deve ser cuidadosamente inspecionado para que se possam mapear as principais patologias apresentadas e quando necessário promover, um plano de recuperação, para que estas possam atender os requisitos mínimos de capacidade de carga, segurança e conforto.

O trabalho da *Report of the National Materials Advisory Board* (1987) apud Andrade e Costa e Silva (2009) descreveu que, nos Estados Unidos, cerca de 235.000 pontes de concreto, algumas com menos de 20 anos de idade, apresentaram problemas de deterioração da estrutura, e que 35.000 novas pontes estavam sendo incorporadas nessa estatística a cada ano.

Estimativa quanto ao levantamento das manifestações patológicas existentes em obras de arte, no Brasil, ainda não é conhecida.

Teixeira e Gonçalves (2003) inspecionaram 200 pontes da malha viária estadual do Piauí, onde foram constatados vários problemas de corrosão de armaduras, desgaste dos aparelhos de apoio, desgaste nos elementos de fundação devido ao problema de erosão, infiltração pelas juntas, fissuras em lajes. A causa principal da grande parte dessas manifestações patológicas tem origem no excesso de carga e na falta de manutenção apropriada.

Carneiro (2004) diz que em uma inspeção visual realizada pela Prefeitura de Recife-PE, nas 27 principais pontes da cidade, apenas cinco foram classificadas em bom estado de conservação. Nas demais pontes, foram constatadas patologias diversas; em três delas, recomendou-se intervenção imediata.

Recentemente, Oliveira et al (2009) realizou inspeção em uma ponte sobre o Rio Piauí, com idade de 30 anos, que não havia passado por processo de reabilitação e o principal problema foi o de corrosão de armadura em elementos principais da ponte.

Com o que já foi exposto anteriormente, podemos concluir que as obras de pontes devem ser cuidadosamente inspecionadas, a fim de que se avalie o seu real estado de conservação, possibilitando o desenvolvimento do melhor plano de manutenção e de recuperação, caso seja necessário.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Como objetivos gerais deste trabalho podem-se destacar os estudos de metodologias de inspeção de estruturas já existentes e adequação das mesmas para o estudo em pontes de concreto armado.

## 1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

O presente projeto pretende desenvolver e aplicar uma metodologia para inspeção, para estruturas de pontes de concreto armado por meio da análise quantitativa

do grau de deterioração das estruturas para que esta possa servir de embasamento para tomada de decisões relacionadas à reabilitação dessas estruturas.

#### 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O Capítulo 1 é uma introdução sobre o presente trabalho, que destaca a importância do tema e quais seus objetivos.

O Capítulo 2 aborda os conceitos fundamentais sobre manifestações patológicas e quais as estratégias de avaliação adotadas para as estruturas de concreto.

O Capítulo 3 apresenta um estudo detalhado dos diferentes métodos de avaliação de estruturas de concreto e suas modificações.

O Capítulo 4 contém a metodologia experimental proposta para esta pesquisa, onde será feito um estudo de caso piloto para que se valide a metodologia proposta, ou se modifique novamente a metodologia, a fim de tornar a proposta válida.

O Capítulo 5 apresenta análises e discussão dos resultados dos estudos de caso realizados.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões gerais do trabalho desenvolvido.

Por último apresentam-se as referências bibliográficas.

Os Anexos estão divididos em A, onde está o mapa do Estado de Goiás com as demarcações das pontes visitadas e B, o qual apresenta a metodologia desenvolvida neste trabalho.

## 2 AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

O objetivo deste capítulo é abordar diversos tipos de estratégias para avaliação de estruturas de concreto. Antes de estudar estas estratégias de avaliação é necessário conceituar alguns termos empregados na área de patologia das construções.

### 2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS.

De acordo com Souza e Ripper (1998), Patologia das Estruturas é o campo da Engenharia das Construções que promove o estudo das origens, formas de manifestação, conseqüências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de deterioração das estruturas.

Para Helene (1992), a área da Engenharia que cuida das manifestações patológicas é compreendida como a parte da Engenharia que estuda os sistemas, mecanismos, causas e origens dos defeitos das obras civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

Os danos estruturais apresentados nas pontes variam em intensidade e incidência, muitas vezes, acarretando elevados custos para a sua correção, como comentado por Helene (1992). Sob o mesmo aspecto, sempre haverá comprometimento da estética e, na maioria das vezes, redução da capacidade resistente, podendo chegar, em certas situações, ao colapso parcial ou total da estrutura.

Com o constante aumento dos problemas patológicos estruturais, a Patologia das Estruturas tem buscado não somente a sistematização das manifestações patológicas como também promover novos conceitos no meio técnico.

Souza e Ripper (1998) afirmam que os termos a serem introduzidos no meio técnico são: desempenho, durabilidade, meio ambiente, conformidade, vida útil e manutenção.

Pode-se então citar alguns conceitos dados aos termos introduzidos por Souza e Ripper (1998). Para Mehta e Monteiro (2008) durabilidade é a capacidade que o concreto tem em resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração. Para estes autores, vida útil é sinônimo de durabilidade e que fazemos referência ao meio ambiente, já que o mesmo influi bastante na durabilidade do mesmo.

Então, pode defini-se por vida útil de um material como sendo o período durante o qual as suas propriedades físicas e químicas permanecem acima dos limites mínimos especificados para atenderem a sua função. A vida útil pode ser ampliada de maneira significativa com um correto programa de manutenção estrutural.

Mehta e Monteiro (2008) ainda afirmam que um material atingiu o fim da sua vida útil quando as suas propriedades sob dadas condições de uso deterioram a um tal ponto que a continuação do uso deste material é considerada, como insegura ou antieconômica.

O estudo das patologias estruturais engloba a análise detalhada do problema descrevendo as causas, as formas de manifestação, os mecanismos de ocorrência, a profilaxia e a manutenção estrutural. Segundo Helene (1992), cabe às terapias estudar a correção e a solução desses problemas patológicos. É de comum acordo que, para a correta escolha e aplicação da terapia, há a importância de um estudo detalhado que apresente o verdadeiro diagnóstico da origem da patologia.

Para que um sintoma na estrutura seja considerado patológico, este deve comprometer a sua capacidade mecânica, funcional ou estética, e os aspectos fundamentais para a avaliação dos problemas patológicos são: durabilidade, vida útil e desempenho.

A origem das manifestações patológicas pode ter sua causa ligada a diversas etapas que compõem a estrutura, podendo ser desde a concepção de projeto, passando pelos materiais empregados na construção, chegando à execução e uso/manutenção.

A NBR 6118 (ABNT, 2003) faz exigências à durabilidade, pois as estruturas projetadas devem prever condições ambientais da época e quando utilizadas devem conservar sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante toda sua vida útil. Por sua vez vida útil é descrita como o período de tempo que a estrutura se mantém com as características de projeto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção especificados no projeto.

Segundo Andrade e Costa e Silva (2005) alguns dos principais problemas encontrados relativos à etapa de concepção de projeto são expostos na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Descrição sumarizada de problemas encontrados na etapa de projeto, (ANDRADE e COSTA E SILVA, 2005).

| Fase                   | Principais problemas encontrados                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Projeto de arquitetura | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldade para realização de atividades de manutenção preventivas (atenuada, por exemplo, com o uso de shafts para descida de tubulação hidráulica).</li> <li>- Detalhes arquitetônicos propícios à formação de microclimas sujeitos à deterioração.</li> <li>- Utilização na fachada de elementos de concreto aparente de pequena espessura, não concebidos para a durabilidade (caixas de ar-condicionado, placas, brises).</li> <li>- Jardineiras posicionadas em contato com pilares sem proteção.</li> </ul>              |
| Projeto de estrutura   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionamento que leva a excessivas deformações na estrutura, induzindo o surgimento de fissuras (utilização de grandes vãos e peças esbeltas).</li> <li>- Adoção de peças com espessura de cobrimento e relação água/cimento incompatíveis com o meio.</li> <li>- Especificação de materiais componentes do concreto (cimento, agregados, água) em desacordo com as condições de exposição previstas.</li> <li>- Emprego de juntas estruturais sujeitas à infiltração de água, próximas aos elementos estruturais.</li> </ul> |
| Projeto de fundações   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recalques e acomodações diferenciais excessivas geradores de fissuras, perda de funcionalidade e, em caso extremo, colapso.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Projetos diversos      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboração de projetos de impermeabilização em conformidade com a atuação da água e a deformabilidade prevista da estrutura.</li> <li>- Projeto de revestimentos adaptado às solicitações para prevenção da ocorrência de fissuras (posicionamento de telas metálicas, juntas de movimentação).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                       |

Para que problemas devidos ao emprego de materiais indevidos na construção não surjam é necessário que se faça o controle dos mesmos, verificando os aspectos físicos e químicos do cimento e dos agregados.

Os problemas que surgem na estrutura que estão correlacionados com a etapa construtiva têm sua causa apresentada nas fases de mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura do concreto e armação.

Ainda segundo os autores supracitados as patologias mais comuns referentes à etapa de uso e manutenção estão descritos na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Descrição das patologias mais comuns referentes à etapa de uso e manutenção, (ANDRADE e COSTA E SILVA, 2005).

| <b>Causa principal</b>                                      | <b>Problema encontrado com frequência</b>                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sobrecarga em pavimentos                                    | - Fissuras, quebras das placas.                                                                                                                                                                                                                         |
| Desgaste do componente elástico das juntas estruturais      | - Obras de arte: pode favorecer a formação de microclima particular em torno da junta, levando à deterioração do concreto e das armaduras nos elementos em contato.<br>- Pavimentos: favorece o bombeamento da camada de suporte e a quebra das placas. |
| Desgaste do aparelho de apoio em obras de arte              | - Fissuras, quebras das peças.                                                                                                                                                                                                                          |
| Impermeabilização deficiente                                | - Formação de manchas de cor branca, com característica de escorrimento, insolúveis na água (eflorescência) – pavimento de garagem, áreas sob jardineiras.                                                                                              |
| Danos acidentais – sismos, impactos, inundações, incêndios. | - Fissuras, deslocamentos excessivos, colapso.                                                                                                                                                                                                          |

A NBR 6118 (ABNT, 2003) apresenta mecanismos de deterioração relativos ao concreto, à armadura e à estrutura propriamente dita. Para os mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto são: lixiviação, ataque por sulfatos, reação álcali-agregado e reação superficial de agregados. Para a armadura os mecanismos são: a despassivação por carbonatação e por elevado teor de íon cloro. E à estrutura propriamente dita os mecanismos são: as ações mecânicas, dilatação térmica, impactos, ações cíclicas, fluência, relaxação e retração hidráulica.

A fim de amenizar os processos de deterioração causados pelo uso indevido das edificações, a NBR 14037 (ABNT, 1998) destaca que a finalidade do manual de operação, uso e manutenção das edificações é informar aos usuários sobre as características técnicas da edificação construída, descrever procedimentos recomendáveis para o melhor aproveitamento da edificação, orientar os usuários para a realização das atividades de manutenção, prevenir a ocorrência de falhas e acidentes



decorrentes de uso inadequado e contribuir para o aumento da durabilidade da edificação.

## 2.2 ESTRATÉGIAS DE INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS.

Como relatado, para que se mantenha a integridade e funcionalidade da estrutura é necessário que se faça a manutenção periódica da mesma, pois uma vez que o problema patológico foi instalado se torna necessário realizar inspeção para que se possam diagnosticar estes problemas visando assim obter sucesso no processo de reabilitação. Portanto diversas e novas formas para entender os processos de deterioração são necessárias para que se realizem diagnósticos precisos.

Figueiredo (1989) em sua dissertação de mestrado apresenta um processo bastante completo, representado pela Figura 2.1 para atuação do profissional para resolução dos problemas patológicos.

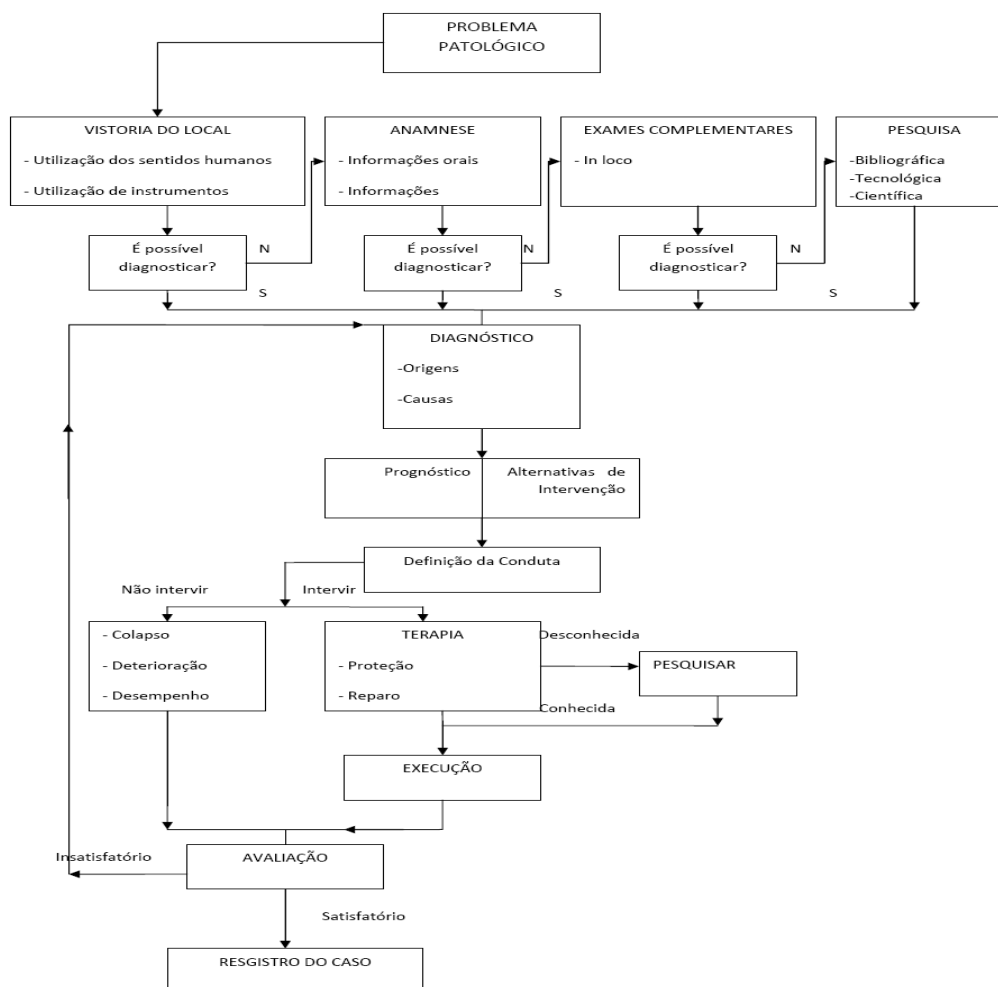


Figura 2.1 – Fluxograma de atuação para a resolução dos problemas patológicos. (FIGUEIREDO,1989).

Lichtenstein (1985) *apud* Antoniazzi (2008) propôs uma metodologia de inspeção que compreende três partes distintas, sendo elas:

- Levantamento de subsídios: no local, levantamento histórico, e resultado da análise;
- Diagnóstico da situação: entendimento dos fenômenos verificando a viabilidade da intervenção;
- Decisão de conduta: estudando as melhores maneiras de intervenção.

A Figura 2.2 representa a metodologia proposta por Lichtenstein (1985) *apud* Antoniazzi (2008).

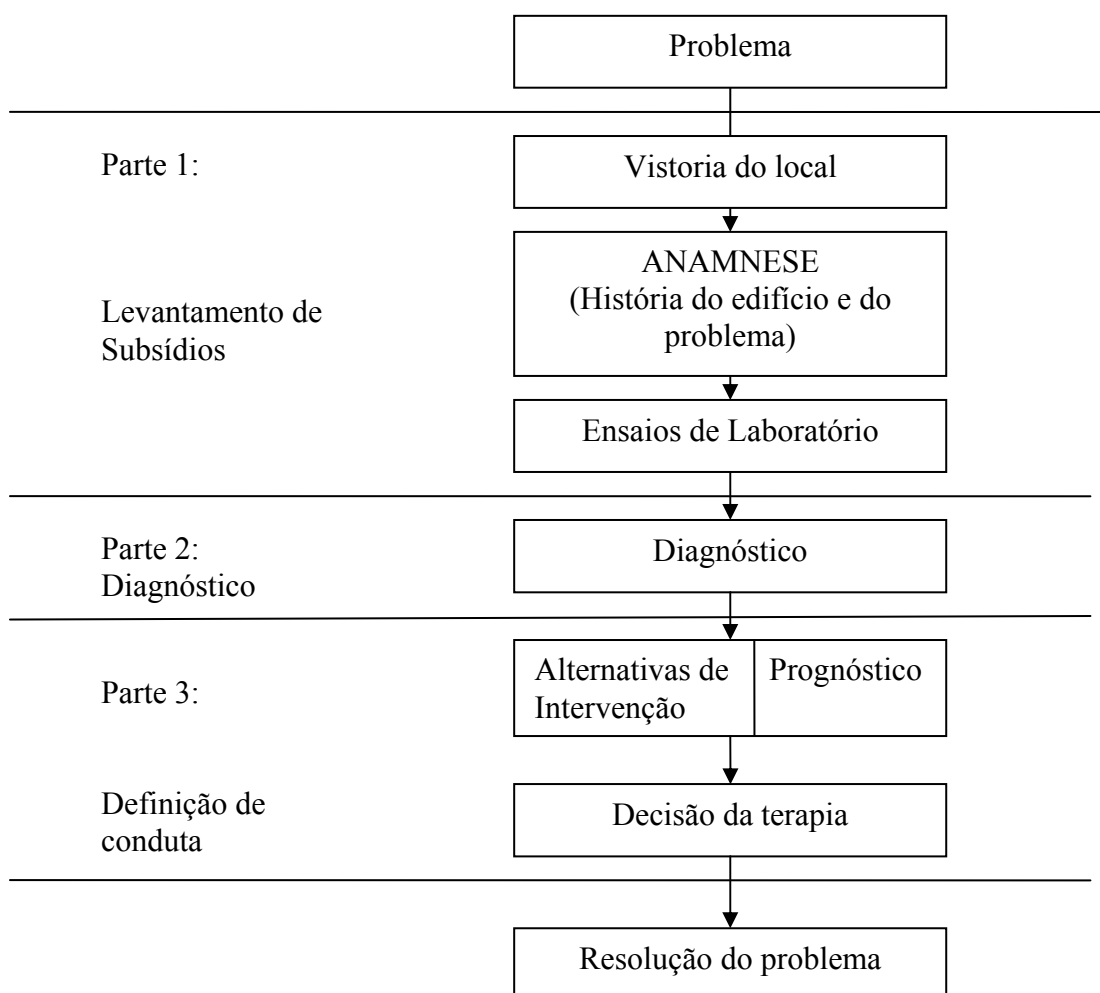


Figura 2.2 – Estrutura do método para a resolução de problemas patológicos proposta por Lichtenstein (1985) *apud* Antoniazzi (2008).

O código MC – 90 do CEB (1991) sugere intervalos de inspeção para estruturas onde se deve preencher os requisitos relacionados quanto à segurança e funcionalidade das mesmas.

Os intervalos são definidos como:

- Casas, escritórios, etc.: 10 anos
- Edifícios industriais: 5 a 10 anos
- Pontes de auto-estradas: 4 anos
- Pontes de ferrovias: 2 anos
- Pontes de rodovias: 6 anos

A NBR 6118 (ABNT, 2003) não estipula prazos para inspeções assim como apresentado anteriormente para o Código MC – 90 do CEB, mas sugere que deve ser fornecido um manual de manutenção e utilização aos usuários, onde deverá conter informações necessárias para garantir a vida útil da estrutura.

A Federação Internacional de Protensão (*FIP*, 1998) estabelece um procedimento direcionado à inspeção em estruturas de concreto armado e protendido, contendo intervalos de tempos para as inspeções. Os intervalos de tempo para as inspeções estruturais são definidos mediante categorias de inspeções, combinando a classe da estrutura aos tipos de condições ambientais e de carregamento.

As categorias de inspeção são: rotineira, extensiva e especial, onde a rotineira é realizada em intervalos regulares, a extensiva também em intervalos regulares sendo alternadas com as rotineiras para investigações minuciosas e as especiais são tidas como extraordinárias indicadas pelas inspeções anteriores ou por causas acidentais. Menciona também os valores para as classes de estrutura, valores estes que podem variar de 1 até 3, onde a classe 1 a causa de ruptura da estrutura é de nível catastrófico e sua importância é vital, classe 2 é tido como estrutura importante e sua ruptura custa vidas e a classe 3 onde pode-se tolerar que esta estrutura fique fora de serviço por determinado tempo.

E por último, as condições ambientais e de carregamento variam entre muito severas à normal, onde o que as diferencia é o ambiente ao qual a estrutura está inserida e se o carregamento é estático ou cíclico.

A Tabela 2.3 a seguir mostra os intervalos de inspeção apresentados pela FIP (1998).

Tabela 2.3 – Indicação de intervalos de inspeção (em anos), (FIP, 1998).

| <b>Condições ambientais e de carregamento</b> | <b>Classes de Estruturas</b> |                    |                    |                    |                    |                    |
|-----------------------------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                               | 1                            |                    | 2                  |                    | 3                  |                    |
|                                               | Inspeção Rotineira           | Inspeção Extensiva | Inspeção Rotineira | Inspeção Extensiva | Inspeção Rotineira | Inspeção Extensiva |
| Muito severa                                  | 2*                           | 2                  | 6*                 | 6                  | 10*                | 10                 |
| Severa                                        | 6*                           | 6                  | 10*                | 10                 | 10*                | -                  |
| <b>Normal</b>                                 | 10*                          | 10                 | 10*                | -                  | **                 | **                 |

\*intercalada entre inspeções extensivas, \*\*apenas inspeções superficiais.

A NBR 9452 (ABNT, 1986) fixa as condições para realização de vistorias em pontes e viadutos de concreto armado e também sugere como devem ser apresentados os resultados destas vistorias.

Os tipos de vistorias considerados nesta norma são a cadastral, a rotineira e a especial, onde a primeira deve ser realizada logo após a conclusão da obra realizada com documentos e informes construtivos, a vistoria rotineira deve ser realizada em intervalos de tempo regulares, não superiores a um ano e visa manter o cadastro da obra atualizado e também deve utilizar como roteiro básico um anexo constante na norma referida e a especial tem a finalidade de interpretar danos encontrados na vistoria rotineira.

A norma do DNIT 010 – PRO (2004) também cita os tipos de inspeções, acrescentando mais 2 (dois) tipos além das apresentadas na NBR 9452 (ABNT, 1986) e recomenda a periodicidade que devem ser realizadas. São elas:

- Cadastral – imediatamente após a conclusão da obra, ou quando a obra é incluída no SGO (Sistema de Gerenciamento de OAE), ou quando esta apresenta importantes alterações estruturais;
- Rotineira – a cada 2 anos;
- Especial – a cada 5 anos;
- Extraordinária – quando ocorrer um grave acidente;
- Intermediária – quando houver recomendação por inspeção anterior.

O Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias – DNIT (2004) apresenta procedimentos completos de inspeção em pontes englobando seus diversos tipos e formas, podendo ser executadas em aço, concreto armado ou protendido. Este Manual além de mencionar e explicar os tipos de inspeção e sua periodicidade mostra também a

evolução das pontes rodoviárias da malha federal (com cargas, características gerais, esquema da formação do trem-tipo e seção transversal).

Para cada elemento da ponte o manual aponta quais itens deve ser analisado com mais rigor, porém os relatórios e fichas de inspeção são os mesmos apresentados na norma DNIT 010 – PRO (2004), que será abordado com mais detalhes no Capítulo 3.

### **3 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Neste capítulo serão apresentadas metodologias para inspeção e/ou avaliação das estruturas em concreto armado sendo elas convencionais ou obras de arte.

#### **3.1 METODOLOGIA DNIT 010 – PRO (2004)**

A norma DNIT 010 – PRO (2004), apresenta Anexos A e B como modelos de fichas específicas para anotação dos resultados de inspeções do tipo cadastral e rotineira e, em seu Anexo C, apresenta as instruções para atribuição de notas de avaliação aos elementos de uma ponte onde se atribui nota variável entre 1 e 5 para cada elemento componente da ponte, refletindo assim a gravidade dos problemas detectados no elemento.

Os procedimentos gerais apresentados pela norma DNIT 010 – PRO (2004) são que a inspeção deve conter documentação fotográfica de no mínimo 6 (seis) fotos que devem registrar todas as vistas e detalhes dos apoios, juntas, articulações, etc; deve-se também avaliar cuidadosamente os eventuais problemas encontrados e se houver possibilidade observar a ponte durante a passagem de cargas para verificar se há deformações ou vibrações excessivas.

A Figura 3.1 apresenta uma das fichas de inspeção rotineira expedita que consta no Anexo B e a Tabela 3.1 apresenta a tabela que consta no Anexo C da norma do DNIT 010 – PRO (2004).

## Ficha de inspeção rotineira expedita

[illegible]

Figura 3.1 – Ficha de inspeção expedita integrante do Anexo B, (DNIT 010 – PRO, 2004).

Tabela 3.1 – Instruções para atribuição de notas de avaliação em pontes. (DNIT 010 – PRO, 2004).

| NOTA | DANOS NO ELEMENTO / INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL                                                                                                                    | AÇÃO CORRETIVA                                                                                                             | CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE | CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA PONTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5    | Não há danos nem insuficiência estrutural.                                                                                                                      | Nada a fazer.                                                                                                              | Boa                       | Obra sem problemas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 4    | Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural                                                                              | Nada a fazer; apenas serviços de manutenção.                                                                               | Boa                       | Obra sem problemas importantes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3    | Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.                                                 | A recuperação da obra pode ser postergada, devendo-se, porém, neste caso, colocar-se o problema em observação sistemática. | Boa aparentemente         | <b>Obra potencialmente problemática</b><br>Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras, para detectar, em tempo hábil, um eventual agravamento da insuficiência estrutural.                                                                                                                                       |
| 2    | Há danos gerando significativa insuficiência estrutural na ponte, porém não há ainda, aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural.                   | A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.                                   | Sofrível                  | <b>Obra problemática</b><br>Postergar demais a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico, implicando também sério comprometimento da vida útil da estrutura. Inspeções intermediárias <sup>1</sup> são recomendáveis para monitorar os problemas.                                                                                            |
| 1    | Há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso estrutural. | A recuperação (geralmente com reforço estrutural) - ou em alguns casos, substituição da obra - deve ser feita sem tardar.  | Precária                  | <b>Obra crítica</b><br>Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação da obra ser acompanhada de medidas preventivas especiais, tais como: restrição de carga na ponte, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramentos provisórios, instrumentação com leituras contínuas de deslocamentos e deformações etc. |

(1) Inspeções Intermediárias, no presente contexto, significa novas inspeções a intervalos de tempo inferiores aos normais.

Obs.: A nota final da ponte corresponde a menor dentre as notas recebidas pelos seus elementos com função estrutural.



### 3.2 METODOLOGIA DESENVOLVIDA POR KLEIN ET AL (1991)

A metodologia desenvolvida por Klein et al (1991), em convênio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul com a Prefeitura de Porto Alegre, teve como o objetivo implementar um processo de vistorias sistematizadas em pontes, túneis e viadutos para averiguar o estado de conservação das mesmas verificando as lesões existentes.

O método de trabalho desenvolvido para a execução destas vistorias era evidenciar todos os problemas apresentados e classificar as obras em função da gravidade de seus problemas através da definição de um grau de deterioração.

Fez-se então uma vistoria em 43 (quarenta e três) obras de arte e todos os dados coletados resultaram na classificação das estruturas em níveis baixo, médio, alto e crítico.

#### 3.2.1 Principais Aspectos

Nesta metodologia as obras de arte são subdivididas em seus elementos componentes e estes formarão por sua vez um grupo denominado Família de elemento.

Estas famílias de elementos foram classificadas como: instalações diversas, encontros, instalações pluviais, pavimentos, juntas de dilatação, aparelhos de apoio, pilares e tabuleiros (vigas e lajes da superestrutura).

Através de inspeções visuais, os engenheiros vistoriadores preenchem formulários individuais presentes no Caderno de Inspeção, atribuindo um grau para cada lesão observada, em função da intensidade observada e em função desta nota é que se determinará o grau de deterioração da estrutura.

#### 3.2.2 Formulação

A formulação adotada para a metodologia descrita no item 3.2 leva em conta parâmetros de análise para elementos isolados, para a família desses elementos e por fim para a estrutura como um todo. Os parâmetros estão apresentados a seguir.

### 3.2.2.1 Fator de Intensidade do Dano (FI)

O Fator de Intensidade do dano (FI) é atribuído pelos vistoriadores na obra, considera a intensidade de cada manifestação patológica encontrada em cada elemento e o valor atribuído a ele varia em uma escala de 0 a 4, onde 0 é o valor atribuído ao elemento que não apresenta lesão e 4 o valor atribuído ao elemento que apresenta muitas lesões (estado crítico).

### 3.2.2.2 Fator de Relevância Estrutural (FR)

O Fator de Relevância estrutural (FR) considera a importância de cada tipo de elemento, dentro do conjunto de elementos em que a obra é subdividida, em função de sua responsabilidade no comportamento estrutural e bom desempenho da mesma. Sua escala varia crescentemente com a importância do elemento, como segue: (1) Instalações diversas; (2) Encontros; (3) Instalações pluviais e Pavimento; (4) Juntas de dilatação e Aparelhos de apoio; (5) Pilares, Vigas e Tabuleiros.

### 3.2.2.3 Fator de Gravidade do Problema (FG)

O Fator de Gravidade do problema (FG) considera o provável grau de comprometimento estrutural ou de desempenho causado pela manifestação patológica detectada sobre um elemento. Para sua definição foram estabelecidos quais os problemas mais relevantes quanto aos aspectos de durabilidade e segurança estrutural e, para cada um deles, examinando sob que forma seus efeitos são manifestados. Assim, para cada problema específico, e em função do elemento que apresenta o problema, atribui-se uma nota dentro de uma escala de 0 a 10.

### 3.2.2.4 Grau de Risco do Elemento (GRE)

O Grau de Risco do Elemento (GRE) o grau de risco de um elemento isolado de uma estrutura é definido pela expressão:

$$GRE = 100 \times \sum (FG \times FI) / \sum FG \quad (3.1)$$

Onde: FG é cada manifestação patológica apresentada por um elemento correspondente e FI é a intensidade dessa manifestação. O  $\sum FG$  é a soma de todos os valores atribuídos para as manifestações patológicas de um dado elemento.

### 3.2.2.5 Grau de Deterioração da Família de Elementos (GDF)

Grau de Deterioração da Família de elementos (GDF) é definida pela expressão:

$$GDF = \sum_{i=1}^n (\delta_i \times GDE_i / n) \quad (3.2)$$

Onde: n – números de elementos da família;

GDE – Grau de Deterioração de cada Elemento;

$\delta$  – coeficiente de majoração.

O coeficiente de majoração evidencia os elementos altamente danificados, aumentando sua contribuição no cálculo do GDF. Este impede a possibilidade de dispersão de um elemento em estado crítico dentro de uma família de elementos em bom estado.

$$\delta = \sqrt{(n-m) + 2} / \sqrt{2} \quad (3.3)$$

$\delta = 1$  para  $GDE \leq LIM$

Onde: m – número de elementos da família com  $GDE > LIM$ ;

LIM – valor do GDE acima do qual um elemento está comprometido.

Valores do LIM são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Valores do LIM. (KLEIN ET AL, 1991)

| <b>Elementos</b>    | <b>LIM</b> |
|---------------------|------------|
| Pilares             | 100        |
| Aparelhos de apoio  | 260        |
| Encontros           | 95         |
| Juntas de dilatação | 210        |
| Tabuleiro           | 100        |

### 3.2.2.6 Grau de Deterioração da Estrutura (GD)

O Grau de Deterioração da Estrutura (GD) é o grau de deterioração da família como um todo, um conjunto de todas as  $k$  famílias de elementos, e é definida por:

$$GD = \frac{\sum_{i=1}^k (FR_i \times GDF_i)}{\sum_{i=1}^k FR_i} \quad (3.4)$$

Onde:  $k$  – número de famílias de elementos em cada obra;

$FR$  – Fator de Relevância estrutural do elemento;

$GDF$  – Grau de Deterioração da Família de elementos.

Os valores de GD, obtidos pela expressão 3.4, classificam uma estrutura em função de uma escala como a mostrada pela Tabela 3.3 para o caso de obras de arte.

Tabela 3.3 – Classificação do GD para Obras de Arte. (KLEIN ET AL,1991).

| <b>Grau de Deterioração</b> | <b>GD</b> |
|-----------------------------|-----------|
| BAIXO                       | 0 – 100   |
| MÉDIO                       | 100 – 200 |
| ALTO                        | 200 – 300 |
| CRÍTICO                     | > 300     |

## 3.3 METODOLOGIA GDE/UnB

Desenvolvida por Castro (1994) e chamada de Metodologia GDE/UnB ou PECC/UnB, tem como objetivo fazer a análise das estruturas convencionais em concreto armado. Teve como ponto de partida a já citada metodologia desenvolvida por Klein et al (1991).

Ao constatar que a metodologia desenvolvida por Klein et al (1991) resultava em dados insatisfatórios para as estruturas convencionais, introduziu conceitos e parâmetros para adequação da mesma para que se possa quantificar o grau de deterioração de uma estrutura convencional e seus respectivos componentes.

A metodologia GDE/UnB já foi aplicada em diversas estruturas e sofreu modificações por Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007).

### 3.3.1 Principais Aspectos

A Figura 3.2 apresenta o fluxograma dos procedimentos para realizar a metodologia GDE/UnB e as vistorias são orientadas por um Caderno de Inspeção (CASTRO,1994), onde encontram-se dados necessários para o desenvolvimento do processo de avaliação da estrutura.

Os danos conceituados no Caderno de Inspeção (CASTRO,1994) são: segregação (nichos e ninhos); eflorescência; desagregação; esfoliação, carbonatação; fissuração inaceitável; flechas excessivas; deficiência de cobrimento; manchas de corrosão; presença de cloretos; manchas e infiltração.

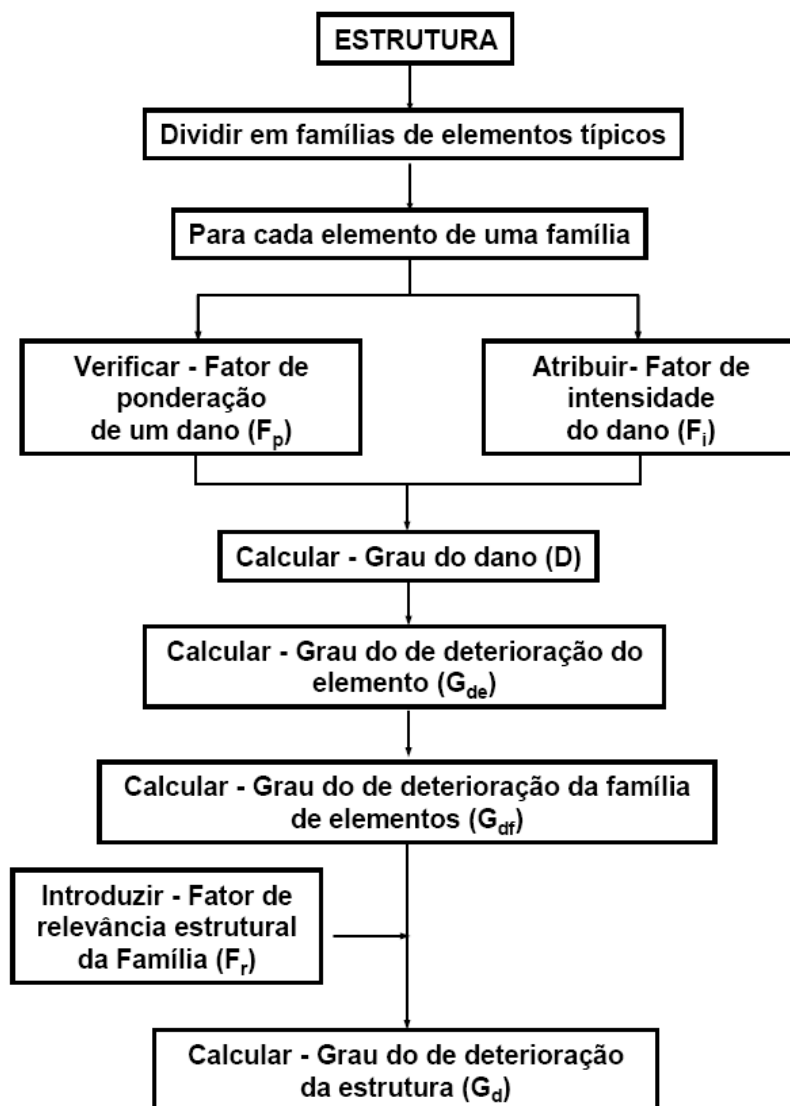


Figura 3.2 – Fluxograma da metodologia para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), (CASTRO, 1994)

As famílias de elementos para estruturas convencionais em concreto armado classificados nesta metodologia foram: pilares, vigas, lajes, cortinas, escadas e rampas, reservatório superior e inferior, blocos de fundação, juntas de dilatação e elementos de composição arquitetônica.

### 3.3.2 Formulação

Assim como a metodologia apresentada no item 3.2 a metodologia GDE/UnB também leva em conta parâmetros de análise para elementos isolados, para a família desses elementos e por fim para a estrutura como um todo e estes parâmetros estão apresentados a seguir.

#### 3.3.2.1 Fator de Ponderação ( $F_p$ )

O Fator de Gravidade do Problema (FG) para a metodologia desenvolvida por Klein et al (1991) passa a ser chamada de Fator de Ponderação ( $F_p$ ), mas mantêm-se as mesmas características e mesma escala de pontuação (0 a 10) preestabelecida.

#### 3.3.2.2 Fator de Intensidade do Dano ( $F_i$ )

O Fator de Intensidade do dano ( $F_i$ ) continuou com as mesmas características apresentada no item 3.2.2.1, ou seja, atribuído pelos vistoriadores na obra, variando em uma escala de 0 a 4, onde 0 é o valor atribuído para o elemento que não apresenta lesão e 4 o valor atribuído ao elemento que apresenta lesões em estado péssimo (crítico).

#### 3.3.2.3 Grau do Dano (D)

O Grau do Dano (D) é calculado em um elemento a partir do fator de ponderação ( $F_p$ ) e do fator de intensidade ( $F_i$ ), usando-se analogia com modelo proposto por Tuutti (1982) *apud* Castro (1994).

O grau do dano será, portanto, uma função com duas variáveis. Sendo o fator de ponderação ( $F_p$ ), característico para cada família, e manifestando o fator de intensidade

( $F_i$ ) atribuído pelo técnico responsável pela inspeção estrutural. As fórmulas para calcular o Grau do Dano (D) são:

$$D = 0,4 F_i F_p \quad \text{para } F_i \leq 2,0 \quad (3.5)$$

$$D = (6 F_i - 14) F_p \quad \text{para } F_i \geq 3,0 \quad (3.6)$$

### 3.3.2.4 Grau de Deterioração de um Elemento ( $G_{de}$ )

O Grau de Deterioração de um Elemento ( $G_{de}$ ) é calculado em função do Grau de Dano (D) das várias manifestações observadas no elemento. E as expressões adotadas para os cálculos são:

$$G_{de} = D_{mx} \quad \text{para } m \leq 2 \quad (3.7)$$

$$G_{de} = D_{mx} + \frac{\sum_{i=1}^{m-1} D_{(i)}}{m-1} \quad \text{para } m > 2 \quad (3.8)$$

Onde: m – número de danos no elemento;

$D_{mx}$  – maior dano detectado no elemento.

Tornou-se, portanto, necessária elaboração de uma tabela com recomendações para elementos isolados indicando as medidas a serem adotadas em função do ( $G_{de}$ ), a Tabela 3.4 apresenta as recomendações para os níveis de deterioração do elemento.

Tabela 3.4 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento, (CASTRO,1994).

| Nível de deterioração | $G_{de}$ | Medidas a serem adotadas                                                            |
|-----------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Baixo                 | 0 - 15   | estado aceitável                                                                    |
| Médio                 | 15 - 50  | Observação periódica e necessidade de intervenção a médio prazo                     |
| Alto                  | 50 - 80  | Observação periódica minuciosa e necessidade de intervenção a curto prazo           |
| Crítico               | > 80     | Necessidade de intervenção imediata para restabelecer funcionalidade e/ou segurança |

### 3.3.2.5 Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ )

O Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ) foi definido como sendo a média aritmética dos Graus de Deterioração dos Elementos, adotando a seguinte fórmula:

$$G_{df} = \frac{\sum_{i=1}^n G_{de(i)}}{n} \quad (3.9)$$

Onde:  $n$  – número de elementos com  $G_{de} \geq 15$ .

Somente serão computados no cálculo do Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ) os elementos desta família que apresentem o  $G_{de} > 15$ .

### 3.3.2.6 Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ )

O Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) é definido através da média ponderada dos Graus de Deterioração das Famílias de Elementos e utiliza como pesos os Fatores de Relevância Estrutural ( $F_r$ ), conforme equação 3.10.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k F_{r(i)} \cdot G_{df(i)}}{\sum_{i=1}^k F_{r(i)}} \quad (3.10)$$

Onde:  $F_r$  – fator de relevância estrutural de uma família de elementos;  
 $G_{df}$  – grau de deterioração da família.

Os fatores de Relevância ( $F_r$ ) ficaram definidos conforme Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Fator de relevância estrutural ( $F_r$ ) adotado por CASTRO, 1994.

| Família de elementos                                               | $F_r$ |
|--------------------------------------------------------------------|-------|
| Elementos de composição arquitetônica                              | 1,0   |
| Reservatório superior                                              | 2,0   |
| Escadas/Rampas, Reservatório inferior, Cortinas, Lajes secundárias | 3,0   |
| Lajes, Fundações, Vigas secundárias, Pilares secundários           | 4,0   |
| Vigas e Pilares principais                                         | 5,0   |



Uma vez calculado o valor de  $G_d$ , da expressão (3.10), classifica-se a estrutura em conforme a Tabela 3.6, que indica as medidas que deverão ser tomadas para uma manutenção mais adequada, segundo o nível de deterioração da estrutura.

Ao analisar individualmente os elementos, pode-se recomendar intervenção imediata ou a curto e médio prazo para estes elementos em função do fator de intensidade de um dano ou do grau de deterioração do elemento. Portanto, poderá ocorrer necessidade de intervenção em elementos isolados, embora o nível de deterioração da estrutura possa ser aceitável do ponto de vista global.

Tabela 3.6 – Classificação do nível de deterioração da estrutura segundo, CASTRO (1994).

| Nível de deterioração | $G_d$   | Medidas a serem adotadas                                                            |
|-----------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Baixo                 | 0 – 15  | estado aceitável                                                                    |
| Médio                 | 15 – 40 | observação periódica e necessidade de intervenção em médio prazo                    |
| Alto                  | 40 – 60 | observação periódica minuciosa e necessidade de intervenção em curto prazo          |
| Crítico               | > 60    | Necessidade de intervenção imediata para restabelecer funcionalidade e/ou segurança |

### 3.4 EVOLUÇÕES DA METODOLOGIA GDE/UnB

Como mencionado no item 3.3 a metodologia desenvolvida por Castro (1994) sofreu várias modificações. A primeira foi em 1998 por Lopes, a segunda por Boldo (2002) e a mais recente em 2007 por Fonseca.

#### 3.4.1 Modificações por Lopes (1998)

Lopes (1998) propôs mudanças nas famílias de elementos, onde uma destas famílias era determinada como “juntas”, verificou-se na verdade a necessidade de incluir o dano “junta danificada”.

Alterou-se a relação de danos com a unificação daqueles referentes à junta, englobando-os sob a denominação de “junta danificada” e da mesma forma procedeu-se

com os danos referentes a recalques e a deslocamentos da estrutura, unificando-os sob a denominação de “recalque/deslocamento”.

O dano referente à corrosão estava denominado apenas de “mancha de corrosão”, tendo sido alterado para “corrosão” abrangendo todos seus estágios, desde o surgimento de manchas de corrosão, que são os primeiros indícios, até a perda total da seção da armadura. Por outro lado, acrescentaram-se os danos referentes à deformação lenta ou fluência, sobrecarga, agressão ambiental e junção de elementos.

Verificou-se também a necessidade de realizar ensaios durante a inspeção detalhada e estas serão em número de 6 (seis) em elementos distintos da estrutura. Os ensaios são para verificar se o cobrimento é suficiente, logo em seguida a profundidade de carbonatação, não é recomendado realizar ensaios em furos feitos com furadeira, mas sim com talhadeira, pois este procedimento mantém o local com características mais próximas da realidade.

A coleta de material para ensaio de teor de cloreto em laboratório torna-se necessário em edifícios localizados em: cidades litorâneas; locais com suspeita de contaminação de materiais; ou locais que teve utilização excessiva de aditivos aceleradores de pega à base de cloretos.

Devida alteração, por unificação ou inserção de outros danos na metodologia, foi necessário rever os fatores de ponderação dos danos para as diversas famílias de elementos estruturais, a Tabela 3.7 mostra como Lopes (1998) adotou estes fatores.

Tabela 3.7 – Fator de ponderação dos Danos ( $F_p$ ), (LOPES, 1998).

| $F_p$ | Dano estrutural          | Pilar | Viga | Laje | Escada<br>Rampa | Cortina | Reserva-<br>tório | Bloco | Peça de<br>Arquitet. |
|-------|--------------------------|-------|------|------|-----------------|---------|-------------------|-------|----------------------|
| 1     | Segregação               | 6     | 4    | 5    | 4               | 5       | 5                 | 6     | 4                    |
| 2     | Lixiviação/Eflorescência | 5     | 5    | 3    | 5               | 5       | 7                 | 5     | 3                    |
| 3     | Desagregação             | 7     | 7    | 7    | 7               | 7       | 7                 | 7     | 7                    |
| 4     | Esfoliação               | 8     | 8    | 8    | 8               | 8       | 8                 | 8     | 8                    |
| 5     | Carbonatação             | 7     | 7    | 7    | 7               | 7       | 7                 | 7     | 7                    |
| 6     | Fissuração inaceitável   | 10    | 10   | 10   | 10              | 10      | 10                | 10    | 8                    |
| 7     | Flecha/ Flambagem        | 10    | 10   | 10   | 10              | 10      | 10                | 10    | 10                   |
| 8     | Desvio de Geometria      | 9     | 7    | 7    | 7               | 7       | 8                 | 7     | 7                    |
| 9     | Cobrimento deficiente    | 6     | 6    | 6    | 6               | 6       | 7                 | 6     | 6                    |
| 10    | Corrosão                 | 7     | 7    | 7    | 7               | 7       | 9                 | 7     | 7                    |
| 11    | Cloreto (presença)       | 10    | 10   | 10   | 10              | 10      | 10                | 10    | 10                   |
| 12    | Mancha                   | 5     | 5    | 5    | 5               | 5       | 6                 | 5     | 5                    |
| 13    | Deformação Lenta         | 8     | 9    | 8    | 8               | 8       | 8                 | 8     | 8                    |
| 14    | Carga Acidental          | 10    | 10   | 10   | 10              | 10      | 10                | 10    | 10                   |
| 15    | Agressão Ambiental       | 8     | 8    | 8    | 8               | 8       | 8                 | 8     | 8                    |
| 16    | Infiltração/ Vazamento   | 6     | 6    | 6    | 6               | 6       | 9                 | 6     | 6                    |
| 17    | Recalque/ Deslocamento   | 10    | 10   | 10   | 10              | 10      | 10                | 10    | 10                   |
| 18    | Ninho de concretagem     | 8     | 8    | 7    | 7               | 8       | 9                 | 8     | 8                    |
| 19    | Esmagamento              | 10    | 9    | 7    | 7               | 10      | 9                 | 10    | 7                    |
| 20    | Junta danificada         | 10    | 8    | 6    | 7               | 6       | 5                 | –     | 5                    |
| 21    | Junção de elementos      | 10    | 8    | 7    | 7               | 8       | 9                 | 8     | 6                    |

A última modificação feita foi para calcular o Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ), desta forma é possível fazer o cálculo para quantos forem os danos encontrados no mesmo elemento, levando em consideração se este dano encontrado é ou não relativamente alto, ficando conforme expressão a seguir.

$$Gde = Dmx \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^m D(i) - Dmx}{\sum_{i=1}^m D(i)} \right) \quad (3.11)$$

Onde:  $Dmx$  = maior grau de dano.

### 3.4.2 Modificação por Boldo (2002)

Lopes (1998) modificou a metodologia de Castro (1994) para a fórmula do Grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ), identificando que ela poderia levar, por vezes, a resultados incoerentes. Boldo (2002) aplicou o princípio utilizado por Lopes (1998) também para o grau de deterioração da família ( $G_{df}$ ).

Portanto o cálculo do Grau de deterioração da família ( $G_{df}$ ) a expressão ficou da seguinte maneira:

$$G_{df} = G_{dem\acute{a}x} \left[ \sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{dem\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}}} \right] \quad (3.12)$$

Onde:  $G_{dem\acute{a}x}$  – Grau de deterioração máximo encontrada no conjunto de elementos de uma família;

$m$  – número de elementos pertencentes a uma mesma família.

### 3.4.3 Modificações por Fonseca (2007)

Segundo Fonseca (2007) a partir dos resultados obtidos da aplicação da metodologia no prédio do Instituto Central de Ciências – ICC observou-se que a mesma precisava passar por algumas reformulações, principalmente em seu Roteiro de Inspeção, no que diz respeito às conceituações dos danos mais freqüentes em estruturas de concreto armado e à utilização da norma de concreto vigente e necessidade de aprimoramento nos valores dos fatores de intensidade ( $F_i$ ) e os valores dos fatores de ponderação ( $F_p$ ) de alguns danos.

O autor considerou que a maioria dos fatores de ponderação dos danos está acima de 5 através do Roteiro de Inspeção apresentado por Boldo, então julgou-se que não se justifica a pontuação de 0 a 10 e por isso, propôs-se a diminuição dos fatores de ponderação para uma escala variando de 1 a 5 e deste modo também foi necessário reformular também o Grau do dano ( $D$ ) em um elemento.

Dessa forma, o  $F_p = 5$  é considerado o valor para a situação mais desfavorável (limite), e as expressões limites para o cálculo do ( $D$ ) resultam em:

$$D = 0,8 F_i F_p \quad \text{para } F_i \leq 2,0 \quad (3.13)$$

$$D = (12 F_i - 28) F_p \quad \text{para } F_i \geq 3,0 \quad (3.14)$$

Fonseca (2007) introduziu mais um nível de classificação para a deterioração, com base na norma DNIT 010 – PRO (2004), que utiliza cinco níveis de deterioração e não quatro como eram apresentados na metodologia.

Portanto as tabelas para classificação dos níveis de deterioração no elemento e na estrutura passaram a ser as mesmas, conforme Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Classificação dos níveis de deterioração (para elemento ou estrutura geral) (FONSECA, 2007).

| <b>Nível de Deterioração</b> | <b>Gde ou Gd</b> | <b>Ações a serem adotadas</b>                                                                                    |
|------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Baixo                        | 0 – 15           | Estado aceitável. Manutenção preventiva.                                                                         |
| Médio                        | 15 – 50          | Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos)                     |
| Alto                         | 50 – 80          | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 1 ano)   |
| Sofrível                     | 80 – 100         | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 6 meses) |
| Crítico                      | > 100            | Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.                                                    |

## 4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para alcançar o objetivo exposto no item 1.3 propõe-se a prévia metodologia de avaliação especial de estruturas de pontes de concreto armado a qual foi baseada nas metodologias apresentadas no capítulo 3, mas principalmente na metodologia GDE/UnB em sua última formulação, Fonseca (2007).

Com a modificação proposta neste Capítulo fez-se um Estudo Piloto, o qual teve a importância de validar a metodologia proposta, caso o Estudo Piloto indique necessidade de mudanças nesta proposta de metodologia, será feita uma nova adequação.

### 4.1 METODOLOGIA GDE/UnB

A metodologia adotada como base é a metodologia em sua última reformulação realizada por Fonseca (2007) cujo roteiro de inspeção é o mesmo apresentado na Figura 3.2.

#### 4.1.1 FORMULAÇÕES DA METODOLOGIA GDE/UnB

A seguir apresenta-se as formulações da metodologia GDE/UnB, para avaliação das estruturas convencionais de concreto armado, em cada passo apresentado na Figura 3.2.

Conforme apresentado para que se avalie uma estrutura devemos primeiro avaliar os elementos separadamente e para cada elemento avaliado deve-se preencher uma tabela onde os danos existentes estão listados conforme modelo apresentado na Figura 4.1.

Para atribuir o  $F_i$  para cada elemento utiliza-se as tabelas presentes no modelo de Fonseca (2007), depois de atribuídos os valores de  $F_i$  para cada elemento, sejam eles quantos forem, calcula-se o Grau de dano conforme equações 4.1 e 4.2.

#### **Grau de Dano (D)**

$$D = 0,8 F_i F_p \quad \text{para } F_i \leq 2,0 \quad (4.1)$$

$$D = (12 F_i - 28) F_p \quad \text{para } F_i > 2,0 \quad (4.2)$$

Após calculado o Grau de Dano de cada elemento, deve-se calcular o Grau de deterioração do elemento conforme equação 4.3 e a cada elemento é possível classificar qual o nível de deterioração o elemento se encontra e qual a melhor ação a ser adotada e o prazo para intervenção.

**Grau de deterioração de um elemento ( $G_{de}$ )**

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \left[ 1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_{(i)} - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m D_{(i)}} \right] \quad (4.3)$$

Tabela 4.1 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento. (FONSECA, 2007).

| <b>Nível de deterioração</b> | <b><math>G_{de}</math></b> | <b>Ações a serem adotadas</b>                                                                                     |
|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Baixo                        | 0 – 15                     | Estado aceitável. Manutenção preventiva.                                                                          |
| Médio                        | 15 – 50                    | Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).                     |
| Alto                         | 50 – 80                    | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).   |
| Sofrível                     | 80 – 100                   | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses). |
| <b>Crítico</b>               | > 100                      | Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.                                                     |

Com o grau de deterioração do elemento, faz-se o cálculo do Grau de deterioração da família de elementos, conforme equação 4.4, porém só serão adotados para o cálculo os elementos que tiveram valores de deterioração acima de 15.

### Grau de deterioração de uma família de elementos ( $G_{df}$ )

São utilizados para o cálculo apenas os elementos com  $G_{de} \geq 15$ .

$$G_{df} = G_{demax} \left[ 1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{demax}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}} \right] \quad (4.4)$$

A análise final se dá com o cálculo do Grau de deterioração da Estrutura, conforme equação 4.5, mas para o cálculo deve ser atribuído o fator de relevância estrutural apresentado a seguir:

### Fator de relevância Estrutural ( $F_r$ )

- |                                                                                           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| • Elementos de composição arquitetônica                                                   | $Fr = 1,0$ |
| • Reservatório superior                                                                   | $Fr = 2,0$ |
| • Escadas/rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias, juntas de dilatação | $Fr = 3,0$ |
| • Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários                                | $Fr = 4,0$ |
| • Vigas e pilares principais                                                              | $Fr = 5,0$ |

### Grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ )

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^K F_{r(i)} G_{df(i)}}{\sum F_{r(i)}} \quad (4.5)$$

Com o valor encontrado através da equação 19 o avaliador pode obter a classificação quanto ao nível de deterioração da estrutura e quais as ações devem ser adotadas para cada caso, esta classificação se dá através da tabela 4.2.



Tabela 4.2 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura. (FONSECA, 2007).

| <b>Nível de deterioração</b> | <b><math>G_{de}</math></b> | <b>Ações a serem adotadas</b>                                                                                     |
|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Baixo                        | 0 – 15                     | Estado aceitável. Manutenção preventiva.                                                                          |
| Médio                        | 15 – 50                    | Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).                     |
| Alto                         | 50 – 80                    | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).   |
| Sofrível                     | 80 – 100                   | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses). |
| <b>Crítico</b>               | > 100                      | Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.                                                     |

#### 4.2 ADEQUAÇÃO DOS ITENS DA METODOLOGIA GDE/UnB À INSPEÇÃO DE PONTES

Com apresentado no item 4.1 a metodologia GDE/UnB em sua última formulação, Fonseca (2007) é para estruturas correntes de concreto armado e para que se faça inspeções em estruturas de Pontes utilizando a metodologia supracitada como base algumas modificações tornaram-se necessárias.

A primeira adequação na metodologia GDE/UnB foi feita nas tabelas utilizadas em campo, modificando quais os danos possíveis de ocorrer em cada elemento. Como se trata de obras públicas, fez-se as adequações para que a inspeção seja apenas visual, visando assim a conservação da estrutura, como já estava no momento da inspeção e também propiciar a aplicação da metodologia de forma prática.

O conjunto de planilhas para inspeção está apresentado no Anexo B e os elementos a serem inspecionados são os principais elementos que compõem as pontes tais como: Pilares, Vigas (transversinas e longarinas), Laje, Barreiras de Defesas e/ou Guarda-corpos, Cortinas, Blocos de Fundação (desde que seja possível a inspeção ser realizada), Pista de rolagem, Juntas de dilatação, Aparelho de Apoio.

A Figura 4.1 mostra exemplos das tabelas adotadas para o presente estudo, a serem preenchidas em vistoria de pontes de concreto armado.

| Planilhas para inspeção.<br>VIGAS |        |    |   |                     |
|-----------------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Nome do Elemento                  |        |    |   |                     |
| Local                             |        |    |   |                     |
| Danos                             | Fp     | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação                      | 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* |    |   |                     |
| Flechas                           | 5      |    |   |                     |
| Manchas                           | 3      |    |   |                     |
| Sinais de esmagamento             | 4      |    |   |                     |
| Umidade na base                   | 3      |    |   |                     |

Figura 4.1 – Exemplo de tabela a ser preenchida para os elementos do tipo Viga, para inspeção em pontes de concreto armado.

Aos danos foram atribuídos valores fixos de  $F_p$  (fator de ponderação), o qual considera o provável grau de comprometimento estrutural ou de desempenho causado por uma manifestação patológica detectada em um elemento, ou seja, qual a relevância da manifestação apresentada para o bom desempenho do elemento estrutural analisado.

Os valores destes fatores foram adequados conforme sua relevância para aspectos de durabilidade e segurança estrutural, estabelecido anteriormente por Fonseca (2007) em uma escala de 1 a 5.

No item fissuras, optamos por manter a forma apresentada na metodologia apresentada por Fonseca (2007), onde o inspetor irá decidir qual a importância da fissura apresentada na inspeção, podendo esta apresentar variações de 2 a 5.

Para facilitar a atribuição do  $F_p$  para o item fissuras, manteve-se a Tabela adota por Fonseca (2007), que contém exemplos de possíveis tipos de fissuras e seus respectivos  $F_p$ .

A Figura 4.2 mostra o exemplo desta tabela adotada para facilitar a atribuição do  $F_p$  para o item fissura.

*Tabela A.3 - Tipologia de fissuras em elementos de concreto armado (continua)*

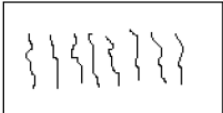
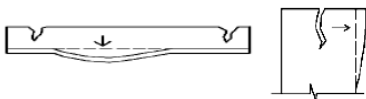
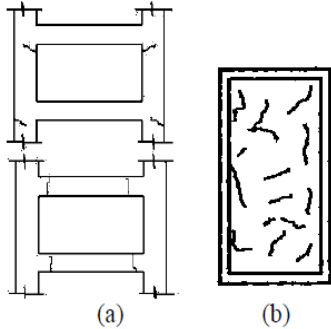
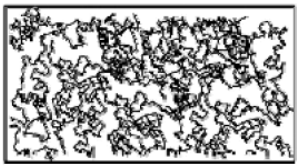
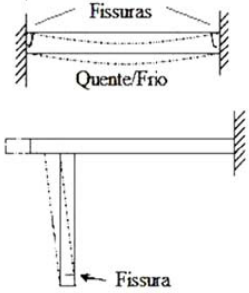
|                          | Fissuras*                           | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Croquis                                                                              | $F_p$ |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>ESTADO PLÁSTICO</b>   | de retração plástica do concreto    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- comuns em lajes e paredes</li> <li>- paralelas, superficiais e afastadas de 0,3 a 1 m.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                           |    | 2     |
|                          | de assentamento do concreto         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- acompanham 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 mau posicionamento, má fixação ou resistência insuficiente de fôrmas e escoramentos</li> </ul>                                                                                                                                                                                                      |    | 3     |
| <b>ESTADO ENDURECIDO</b> | de retração do concreto por secagem | <ul style="list-style-type: none"> <li>- vigas podem ocasionar fissuras nos pilares e vice-versa, por diferenças de rigidez (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 de 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>- indicam desempenho excessivo.</li> <li>- danos apenas 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 e/ou sua inexistência</li> </ul>                                                                                                                                     |  | 3     |

Figura 4.2 – Exemplo de tabela de consulta para adotar o  $F_p$ , item fissura. (FONSECA, 2007).

### 4.3 FORMULAÇÃO ADOTADA

A formulação empregada para a inspeção de Pontes será a mesma adotada para inspeções de obras civis convencionais, já apresentado no subitem 4.1.1, onde se fez necessárias mudanças nos prazos das ações a serem adotadas e na especificação quanto aos níveis de deterioração e seus valores.

Analisando a tabela de classificação dos níveis de deterioração apresentada tanto para o elemento em questão ou para a estrutura geral os prazos máximos para as ações a serem adotadas estão limitados necessitando readequação dos mesmos para intervenção em estruturas de pontes.

Portanto a formulação adotada segue o mesmo padrão da metodologia anterior salvo modificações nos prazos das ações a serem adotadas.

Onde médio prazo ficará estipulado em máximo de 1 ano e meio (18 meses) e curto prazo ficará estipulado em máximo de 1 ano (12 meses).

Os limites para cada nível de deterioração foram readequados a fim de ficar claro ao avaliador em qual nível de deterioração a estrutura ou elemento se encontra, já que na metodologia GDE/UnB não era fácil o entendimento, pois os mesmos valores se encontravam em dois níveis de deterioração distintos, conforme Tabela 3.8.

Portanto a tabela para classificação dos níveis tanto para deterioração do elemento e da estrutural global passam a ser apresentada conforme Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento. Proposta por (Euqueres, 2011)

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

Vale ressaltar que esta mudança nos prazos máximos para intervenções adotados na Tabela 4.3 não acarreta comprometimento para o avaliador e se este verificar a necessidade de uma medida paliativa até que a intervenção seja de fato realizada, cabe ao avaliador sugerir tal ação a ser adotada no ato da avaliação.

#### 4.4 ADEQUAÇÃO DOS ITENS DO FATOR DE RELEVÂNCIA ESTRUTURAL

O fator de relevância estrutural considera a importância de cada elemento em função da responsabilidade do mesmo quanto à estrutura analisada.

Ao adequar o Fator de Relevância Estrutural ( $F_r$ ) foram retirados itens da metodologia anterior (GDE/UNB), pois os mesmos não se aplicam ao estudo de pontes, e acrescentaram-se outros elementos, ficando disposto da seguinte maneira.

##### **Fator de relevância Estrutural ( $F_r$ )**

|                                                          |            |
|----------------------------------------------------------|------------|
| • Barreira de Defesas e/ou Guarda - rodas                | $Fr = 1,0$ |
| • Pista de Rolagem                                       | $Fr = 2,0$ |
| • Cortinas, Juntas de dilatação                          | $Fr = 3,0$ |
| • Lajes, Fundações, Aparelho de Apoio, Vigas Secundárias | $Fr = 4,0$ |
| • Vigas Principais e Pilares                             | $Fr = 5,0$ |

O item Fundações mesmo sendo um elemento de extrema importância estrutural, ficou classificado como item de segunda ordem na escala relevância estrutural, pois a metodologia proposta neste trabalho, contempla apenas avaliação visual, impossibilitando a verificação de todos elementos de fundações em sua integralidade. Deste modo optou-se adotar como  $Fr = 4,0$  para que o mesmo não mascarasse os resultados obtidos.

#### 4.5 PROCEDIMENTO PARA INSPEÇÃO

O procedimento para inspeção apresentado a seguir tem como intuito esclarecer para o inspetor qual a documentação necessária a ser obtida e qual modelo para realização da mesma.

#### **4.5.1 Procedimentos Gerais**

Para que a inspeção seja realizada de modo organizado e seus resultados produzam efeitos satisfatórios e confiáveis é necessário que se faça um acervo fotográfico abrangente e completo.

O Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias – DNIT (2004) sugere que seja feito no mínimo 6 (seis) fotos do local, onde procure registrar todas as vistas, os detalhes dos apoios entre outros, mas deve-se lembrar que quanto maior o acervo fotográfico maior será a possibilidade de contra-provas para dúvidas eventuais e mais preciso será o grau de deterioração calculado, relatando a realidade local.

Também é necessário croqui do local para identificar nomenclaturas adotadas.

#### **4.5.2 Equipamentos para Inspeção**

Além do acervo fotográfico os equipamentos para inspeção são necessários, tanto para confiabilidade de resultados quanto para segurança do inspetor.

a) Equipamentos de Documentação

Prancheta, fichas, lápis, borracha, câmera fotográfica digital.

b) Equipamentos de Medição

Trena, paquímetro, fissurômetro, prumo completo, nível de pedreiro e equipamentos de testes não destrutivos (tais como pacômetro).

c) Equipamentos de Melhoria de Visão

Binóculo, lanterna.

d) Equipamentos de Segurança

Capacete, colete reflexivo, cintos ou coletes com bolsos para acomodar pequenas ferramentas, botinas, máscaras, luvas, cordas para apoio.

e) Equipamentos Complementares

Estojo de primeiros socorros, repelente e material de higiene pessoal.

### 4.5.3 Etapas da Inspeção

As etapas da inspeção seguem mesma estrutura da metodologia GDE/UnB em sua última modificação, conforme Figura 4.3.

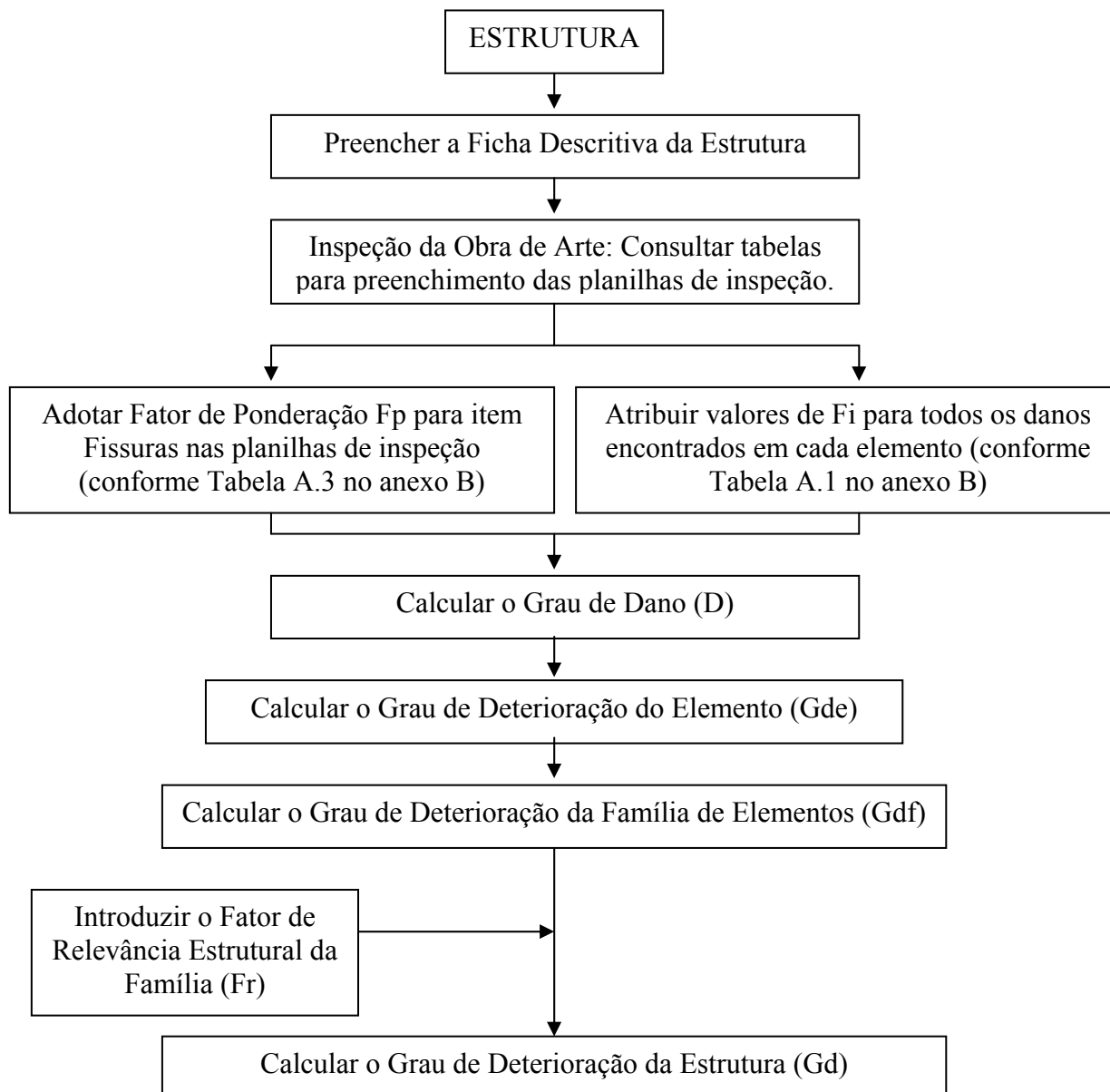


Figura 4.3 – Fluxograma para avaliação do grau de deterioração de estruturas de Pontes, baseado em Castro (1994) apud Fonseca (2007)

A fim de se manter um cadastro da obra vistoriada e poder fazer um controle dos dados é necessário que se preencha a Ficha Descritiva da Estrutura cuja formatação é apresentada na Figura 4.4.

Todas as tabelas a serem preenchidas e os demais dados da metodologia serão apresentados no Apêndice B e para que os cálculos sejam realizados de forma mais ágil

podem ser realizados em programas computacionais, previamente programados com a formulação apresentada no item 4.1.1.

|                                                     |                                       |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|
| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>               |                                       |
| Nome:                                               | _____                                 |
| Localização:                                        | _____                                 |
|                                                     | _____.                                |
| Data da Inspeção:                                   | ____/____/____.      Extensão: _____. |
| Idade:                                              | _____      Número de vãos: _____.     |
| Sistema Construtivo:                                | _____.                                |
| Largura:                                            | _____.                                |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003): | _____.                                |
| Observações:                                        | _____                                 |
|                                                     | _____.                                |
| <br>RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                 |                                       |
| Nome (s):                                           | _____                                 |
|                                                     | _____                                 |
|                                                     | _____                                 |
| Profissão:                                          | _____                                 |
| Cargo/Função:                                       | _____                                 |
| Empresa/órgão:                                      | _____                                 |
| Projetos consultados:                               | _____                                 |
| Empresa Construtora e Projetista:                   | _____                                 |
|                                                     | _____                                 |

Figura 4.4 – Modelo da Ficha Descritiva da Estrutura a ser preenchida na vistoria local



#### 4.6 Estudo Piloto

Para validar a metodologia desenvolvida foi feito um estudo piloto aplicado a estrutura de ponte onde o objetivo foi avaliar a precisão dos dados coletados com a metodologia adotada.

Após coleta de dados calculam-se os Graus de dano tanto para o elemento em questão, para a família de elementos a que ele pertence e assim por consequência o Grau de Deterioração Geral da Estrutura.

O estudo de caso piloto foi realizado no dia 23/06/2010 na ponte localizada sobre o Rio Piracanjuba.

A ficha descritiva da estrutura com dados gerais é apresentada a seguir na Figura 4.5.

| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------|
| Nome: Ponte sobre o Rio Piracanjuba.                                               |
| Localização: Rio Piracanjuba GO 219 entre Bela Vista e São Miguel do Passa Quatro. |
| Data da Inspeção: 23/06/2010.      Extensão: 30 metros.                            |
| Idade: 20 anos      Número de vãos: 1 (um).                                        |
| Sistema Construtivo: Convencional.                                                 |
| Largura: 9,00m sendo 8,20m de pista.                                               |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003) : I (rural) - Fraca.            |
| Observações: _____<br>_____.                                                       |
| RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                                                    |
| Nome (s): Priscilla Euqueres.                                                      |
| Profissão: Engenheira Civil.                                                       |
| Cargo/Função: Mestranda em Engenharia Civil.                                       |
| Empresa/órgão: UFG.                                                                |
| Projetos consultados: SEM ACESSO.                                                  |
| Empresa Construtora e Projetista: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                       |

Figura 4.5 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Rio Piracanjuba – GO

Algumas fotos ilustrativas do local são apresentadas a seguir, pela Figura 4.6.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.6 – Fotos da Ponte sobre o Rio Piracanjuba localizada na GO 219 entre as cidades de Bela Vista e São Miguel do Passa Quatro. (a) Guarda-rodas montante; (b) Fissuras mapeadas na lateral externa da (a); (c) Vista da ponte – jusante e (d) Vista dos Pilares e tubulões (P3 e P4)

#### 4.6.1 Resultados Encontrados

A análise dos elementos da ponte se deu através do preenchimento in loco de tabelas conforme o exemplo dado pela Figura 4.7.

|                           |                      |      |      |
|---------------------------|----------------------|------|------|
| Nome do Elemento:         | VP2 (Viga Principal) |      |      |
| Local:                    | Jusante              |      |      |
| Danos                     | Fp                   | Fi   | D    |
| Carbonatação              | 3,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Cobrimento deficiente     | 3,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Contaminação por cloretos | 4,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Corrosão de armaduras     | 5,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Desagregação              | 3,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Desplacamento             | 3,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Eflorescência             | 2,00                 | 2,00 | 3,20 |
| Falha de concretagem      | 2,00                 | 1,00 | 1,60 |
| Fissuras                  | 2,00                 | 1,00 | 1,60 |
| Flechas                   | 5,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Manchas                   | 3,00                 | 2,00 | 4,80 |
| Sinais de esmagamento     | 4,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Umidade na base           | 3,00                 | 0,00 | 0,00 |

Figura 4.7 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP2 (viga principal 2) à jusante, da Ponte sobre o Rio Piracanjuba – GO219

O Fator de Intensidade (Fi) apresentado na Figura 4.7, foi atribuído conforme tabelas apresentadas no Anexo B e um exemplo destas tabelas está apresentado pela figura 4.8.

Com o fator de intensidade atribuído calculou-se o Grau de dano conforme equações 4.1 e 4.2.

Após o cálculo do grau de dano, calculou-se o grau de cada elemento, conforme equação 4.3 e com o valor encontrado para cada elemento pode-se então calcular o Grau de dano da família de elemento, conforme equação 4.4.

A tabela 4.4 apresenta os resultados obtidos da análise dos elementos da ponte supracitada e conforme mostrado pela equação 4.4. Entraram no cálculo do Grau de deterioração da família de elementos somente os elementos que apresentaram  $G_{de} \geq 15$ .

Tabela 4.4 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Rio Piracanjuba

| Elementos                    | $\sum D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|------------------------------|----------|----------|----------|
| VP1, VP2                     | 11,20    | 7,54     | 0,00     |
| VTA1, VTA2, VTV1, VTV2, VTV3 | 8,00     | 6,72     |          |
| VT1, VT2                     | 3,20     | 3,20     |          |
| LB1                          | 8,00     | 6,72     | 33,60    |
| LB2                          | 40,00    | 33,60    |          |
| LC                           | 8,00     | 6,72     |          |
| GR1, GR2                     | 12,80    | 7,80     | 0,00     |
| Tb1, Tb2, Tb3, Tb4           | 4,80     | 4,80     | 0,00     |

Como para se calcular o Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ) e o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) tomam-se por base apenas os valores encontrados que sejam  $\geq 15$ , portanto apenas a família de lajes apresentará valor para o  $G_{df}$  e este mesmo valor será o valor que entrará no cálculo para o  $G_d$ .

Portanto o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) será calculado através da equação 4.5, juntamente com o fator de ponderação apresentado a seguir:

#### Fator de relevância Estrutural ( $F_r$ )

- Barreira de Defesas e/ou Guarda - rodas  $Fr = 1,0$
- Pista de Rolagem  $Fr = 2,0$
- Cortinas, Juntas de dilatação  $Fr = 3,0$
- Lajes, Fundações, Aparelho de Apoio, Vigas Secundárias  $Fr = 4,0$
- Vigas Principais e Pilares  $Fr = 5,0$

Como apenas a família de lajes foi a que apresentou valor de  $G_{df} \geq 15$ , então o Grau de dano da estrutura será de 33,60.

Este valor implica em classificação MÉDIA tanto para a Família de Lajes tanto para a Estrutura Global, conforme Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura. Proposta por Euqueres (2011)

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

#### 4.6.2 Conclusões do Estudo Piloto

Com os resultados obtidos e analisados, verificou-se que a ponte apresenta resultados satisfatórios, pois a maioria dos níveis de deterioração encontrados foi classificada como baixo e apenas na LB2 (laje em balanço à jusante) o resultado do nível de deterioração foi classificado como médio devido a um problema localizado devido a queima de uma caixa de marimbondos, fato este que provocou o deslocamento da camada de recobrimento e por consequência a corrosão da armadura, mas esta corrosão não implica em risco algum para a estrutura e nem para o elemento, desde que se tome medidas corretivas locais.

A Classificação da LB2 em nível médio de deterioração se dá conforme Tabela 4.5.

A Figura 4.8 mostra o problema relatado acima na LB2.

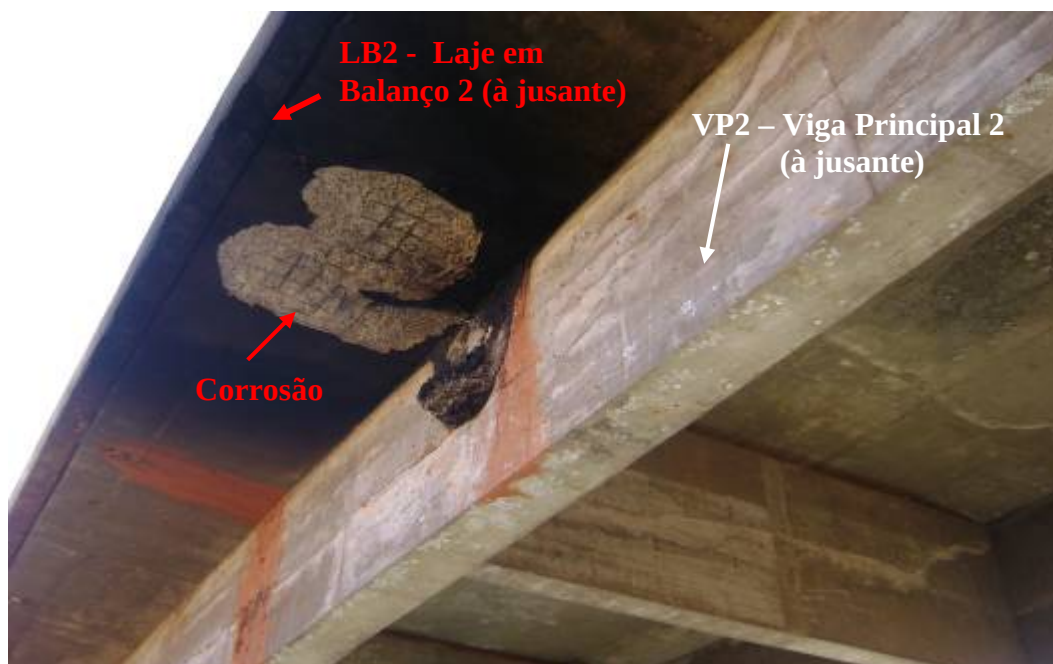


Figura 4.8 – Foto ilustrativa da corrosão da armadura localizada na laje (LB2) da Ponte sobre o Rio Piracanjuba – GO 219

Como a laje em questão é a única com maior Grau de deterioração é necessário que se indique intervenção local para o problema de corrosão localizado citado a cima, para que o mesmo não agrave posteriormente e comprometendo assim completamente o elemento, também é necessário que se faça inspeções rotineiras (2 anos) conforme classificação da NBR 9452 (1986).

Como já citado para análise dos resultados, na Metodologia desenvolvida por Castro (1994) até sua última adaptação realizada por Fonseca (2007) para o cálculo do Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ) tomam-se por base apenas os elementos que apresentaram o  $G_{de} \geq 15$ , ou seja, nível de deterioração acima do nível classificado como BAIXO, porém com essa configuração, nosso estudo piloto apresentou famílias de elementos sem classificação quanto ao nível de deterioração (exemplo família de vigas, onde todos os elementos separados apresentaram nível de deterioração baixo) e por consequência o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) foi comandado apenas por um único elemento (neste caso a corrosão localizada devido à queima da caixa de marimbondos na LB2) tornando assim a Estrutura classificada com nível de deterioração MÉDIO.

Portanto verificou-se com o Estudo de Caso Piloto a necessidade de adotar para o cálculo do Grau de deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ) todos os elementos da

família desde que o  $G_{de} > 0$  (zero) e assim calcular também o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) todos os  $G_{df} > 0$  (zero).

Assim os resultados encontrados ficam dispostos conforme a tabela 4.6, onde o cálculo do  $G_{df}$  é feita através da equação 4.4 apresentada no item 4.6.1.

Tabela 4.6 – Resultados obtidos para Somatório do Grau de dano ( $\sum D$ ), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Rio Piracanjuba, com adaptação no cálculo do  $G_{df}$

| Elementos                    | $\sum D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|------------------------------|----------|----------|----------|
| VP1, VP2                     | 11,20    | 7,54     | 10,29    |
| VTA1, VTA2, VTV1, VTV2, VTV3 | 8,00     | 6,72     |          |
| VT1, VT2                     | 3,20     | 3,20     |          |
| LB1                          | 8,00     | 6,72     | 38,10    |
| LB2                          | 40,00    | 33,60    |          |
| LC                           | 8,00     | 6,72     |          |
| GR1, GR2                     | 12,80    | 7,80     | 9,55     |
| Tb1, Tb2, Tb3, Tb4           | 4,80     | 4,80     | 6,35     |

Com os resultados apresentados acima o Grau de Deterioração da Família de Lajes continua classificado como MÉDIO, conforme mostrado na tabela 4.5. As outras Famílias de Elementos continuam classificadas com nível BAIXO de deterioração (porém algumas agora com resultados diferentes de zero).

O Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) agora passa a ser calculado levando em consideração todas as famílias de elementos e, portanto passa a apresentar valor igual a 17,06, calculado pela equação 4.5 do item 4.6.1. Este valor traduz a realidade da Estrutura como um todo, ainda classificada em MÉDIO seu Grau de Deterioração, mas não tão alto como apresentado anteriormente, como o proposto pela metodologia GDE/UnB.

## 5. ESTUDOS DE CASO

Após conclusão do Estudo Piloto, modificações foram feitas a fim de se adequar a metodologia, visando assim traduzir a realidade apresentada in loco.

Como foi concluído no item 4.6.2, incluiu-se ao cálculo do Grau de Deterioração da Família de Elementos e do Grau de Deterioração da Estrutura qualquer valor encontrado que seja diferente de 0 (zero), adotando assim uma postura de que qualquer que seja o valor encontrado, por menor que ele seja, contribui para o estado global de deterioração, seja ele da estrutura como um todo ou da família a que este elemento esteja inserido.

Para a segunda parte das avaliações, fizeram-se estudos em 11 pontes localizadas em diversas rodovias estaduais goianas avaliando o estado de deterioração de cada uma das pontes e suas particularidades a fim de se validar o método apresentado no Capítulo 4. Todas as 11 pontes tiveram procedimento de cálculo igual ao item 5.1 apresentado na sequência.

No Anexo A encontra-se representado em um mapa estadual as localizações das pontes avaliadas neste trabalho durante o período de 04/01/2011 e 02/03/2011.



### 5.1 ESTUDO DA PONTE SOBRE RIBEIRÃO SANTA MARIA

A Figura 5.1 apresenta ficha descritiva da estrutura com dados gerais do estudo de caso na Ponte sobre o Ribeirão S<sup>ta</sup>. Maria realizado no dia 04/01/2011.

| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>                |                                                              |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Nome:                                                | Ponte sobre o Ribeirão Santa Maria.                          |
| Localização:                                         | Ribeirão Santa Maria GO 309 entre Itumbiara e Buriti Alegre. |
| Data da Inspeção:                                    | 04/01/2011.                                                  |
| Extensão:                                            | 60 metros.                                                   |
| Idade:                                               | Número de vãos: 2 (dois).                                    |
| Sistema Construtivo:                                 | Convencional.                                                |
| Largura:                                             | 8,20 m de pista.                                             |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003) : | I (rural) - Fraca.                                           |
| Observações:                                         | _____                                                        |
| _____                                                |                                                              |
| RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                      |                                                              |
| Nome (s):                                            | Priscilla Euqeres.                                           |
| Profissão:                                           | Engenheira Civil.                                            |
| Cargo/Função:                                        | Mestranda em Engenharia Civil.                               |
| Empresa/órgão:                                       | UFG.                                                         |
| Projetos consultados:                                | SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                                   |
| Empresa Construtora e Projetista:                    | SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                                   |

Figura 5.1 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Ribeirão S<sup>ta</sup>. Maria – GO

Algumas fotos ilustrativas do local são apresentadas pela Figura 5.2.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.2 – Fotos da Ponte sobre o Ribeirão S<sup>ta</sup>. Maria localizada na GO 309 entre as cidades de Itumbiara a Buriti Alegre. (a) Vista da chegada na Ponte – Vista de Itumbiara-GO; (b) Guarda-Rodas à Jusante do Ribeirão; (c) Vista inferior da ponte; (d) Vista lateral à montante da Ponte

### 5.1.1 Resultados Encontrados

A análise dos elementos da ponte se deu através do preenchimento in loco de tabelas conforme o exemplo dado pela Figura 5.3.

|                           |                          |                           |                  |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------|
| Nome do Elemento:         | VP2 (Viga Principal)     |                           |                  |
| Local:                    | Jusante                  |                           |                  |
| Danos                     | Fator de Ponderação (Fp) | Fator de Intensidade (Fi) | Grau de Dano (D) |
| Carbonatação              | 3,00                     | 0,00                      | 0,00             |
| Cobrimento deficiente     | 3,00                     | 0,00                      | 0,00             |
| Contaminação por cloretos | 4,00                     | 0,00                      | 0,00             |
| Corrosão de armaduras     | 5,00                     | 3,00                      | 40,00            |
| Desagregação              | 3,00                     | 0,00                      | 0,00             |
| Desplacamento             | 3,00                     | 0,00                      | 0,00             |
| Eflorescência             | 2,00                     | 3,00                      | 16,00            |
| Falha de concretagem      | 2,00                     | 2,00                      | 3,20             |
| Fissuras                  | 3,00                     | 3,00                      | 24,00            |
| Flechas                   | 5,00                     | 0,00                      | 0,00             |
| Manchas                   | 3,00                     | 0,00                      | 0,00             |
| Sinais de esmagamento     | 4,00                     | 0,00                      | 0,00             |
| Umidade na base           | 3,00                     | 0,00                      | 0,00             |

Figura 5.3 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP2 (viga principal 2) à jusante, da Ponte sobre o Rio S<sup>ta</sup>. Maria – GO309

O fator de intensidade foi adotado com base nas tabelas apresentadas no Anexo B.

Assim deu-se prosseguimento ao cálculo de D conforme equações 4.1 e 4.2.

A tabela 5.1 apresenta os resultados obtidos da análise dos elementos da ponte supracitada, onde os cálculos de  $G_{de}$  e  $G_{df}$  foram feitos através das equações 4.3 e 4.4.

Tabela 5.1 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano ( $\sum D$ ), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão S<sup>ta</sup>. Maria

| Elementos                                            | $\sum D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| P3                                                   | 5,6      | 4,57     | 4,57     |
| VP1                                                  | 19,20    | 18,67    | 67,53    |
| VP2                                                  | 83,20    | 60,77    |          |
| VT1, VT2, VT3                                        | 0,00     | 0,00     | 25,66    |
| VTA1, VTA2, VTA3, VTV1, VTV2, VTV3, VTV4, VTV5, VTV6 | 19,20    | 18,67    |          |
| LB1                                                  | 0,00     | 0,00     | 51,43    |
| LB2                                                  | 0,00     | 0,00     |          |
| LC                                                   | 56,00    | 51,43    |          |
| GR1, GR2                                             | 61,60    | 61,56    | 75,40    |
| Tb1, Tb2                                             | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Pista                                                | 56,00    | 51,43    | 51,43    |
| Cort.1                                               | 16,00    | 16,00    | 16,00    |

Com os valores apresentados na Tabela 5.1, calculou-se o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) através da equação 4.5, que está descrito na Tabela 5.2.

#### Fator de relevância Estrutural ( $F_r$ )

- Barreira de Defesas e/ou Guarda - rodas  $Fr = 1,0$
- Pista de Rolagem  $Fr = 2,0$
- Cortinas, Juntas de dilatação  $Fr = 3,0$
- Lajes, Fundações, Aparelho de Apoio, Vigas Secundárias  $Fr = 4,0$
- Vigas Principais e Pilares  $Fr = 5,0$

Tabela 5.2 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Ribeirão S<sup>ta</sup>. Maria.

| Família           | Gdf   | Fr          | Gdf x Fr     |
|-------------------|-------|-------------|--------------|
| Pista             | 51,43 | 2,00        | 102,86       |
| Pilar             | 4,57  | 5,00        | 22,85        |
| Barreira          | 75,40 | 1,00        | 75,40        |
| Laje              | 51,43 | 4,00        | 205,72       |
| Vigas Principais  | 67,53 | 5,00        | 337,65       |
| Vigas Secundárias | 25,66 | 4,00        | 102,64       |
| Cortinas          | 16,00 | 3,00        | 48,00        |
| Somatório =       |       | 24,00       | 895,12       |
|                   |       | <b>Gd =</b> | <b>37,30</b> |

### 5.1.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Ribeirão S<sup>ta</sup>. Maria

Com os resultados obtidos no item 5.1.1 através da análise por meio da metodologia que foi desenvolvida no Capítulo 4, verificou-se que a ponte apresenta os resultados individuais do Grau de Deterioração da Família preocupante, pois estão em sua maioria classificados como ALTO (Gd de 51 a 80), porém estes valores estão apresentados em famílias cuja relevância estrutural não é a mais alta, apenas as Vigas Principais (VP) cujo  $Fr = 5,0$  apresentou classificação ALTA (Gd de 51 a 80), conforme Tabela 4.5.

Admitindo-se todas as famílias de elementos no cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura (Gd) o valor encontrado foi de 37,30 apresentado na Tabela 21 e sua classificação quanto ao nível de deterioração será MÉDIO para a estrutura como um todo, conforme Tabela 4.5, admitindo-se que o prazo para as ações sejam de no máx. 2 anos.

A tabela 5.3 apresenta uma síntese dos resultados encontrados na Ponte sobre o Ribeirão Santa Maria.

Tabela 5.3 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Ribeirão S<sup>ta</sup>. Maria

| SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS |                                  |       |       |                       |                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FAMÍLIA DE ELEMENTOS               | ELEMENTO DETERIORADO             | Gde   | Gdf   | NÍVEL DE DETERIORAÇÃO | AÇÕES                                                                                                                                                                                                                                      |
| Pista                              | pista                            | 51,43 | 51,43 | Alto                  | Intervenção a médio prazo na VP2, juntamente com a LC a fim de minimizar a influência no Grau de deterioração global da estrutura, já que foram os elementos com Nível de deterioração Alto e possuem fator de relevância estrutural alto. |
| Pilar                              | P3                               | 4,57  | 4,57  | Baixo                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
| Viga Principal                     | VP1                              | 18,67 | 67,53 | Alto                  |                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                    | VP2                              | 60,77 |       |                       |                                                                                                                                                                                                                                            |
| Viga Secundária                    | VTA 1, VTA2, VTA3                | 18,67 | 25,66 | Médio                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                    | VTV1, VTV2, VTV3, VTV4,VTV5,VTV6 | 18,67 |       |                       |                                                                                                                                                                                                                                            |
| Laje                               | LB1, LB2                         | 0,00  | 51,43 | Alto                  |                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                    | LC                               | 51,43 |       |                       |                                                                                                                                                                                                                                            |
| Barreira                           | GR1, GR2                         | 61,56 | 75,40 | Alto                  |                                                                                                                                                                                                                                            |
| Cortina                            | Cort. 1                          | 16,00 | 16,00 | Médio                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
| ESTRUTURA                          | Gd = 37,30                       |       |       | Médio                 | Longo prazo para intervenção, desde que se façam ações previstas para elementos.                                                                                                                                                           |

A Figura 5.4 apresenta alguns danos encontrados nesta Ponte.



(a)



(b)

Figura 5.4 – (a) Manchas de Eflorescência na Cortina; (b) Mancha de Eflorescência na LC da Ponte sobre o Ribeirão S<sup>ta</sup>. Maria – GO 309

## 5.2 ESTUDO DA PONTE SOBRE RIO SÃO TOMÁS

A Figura 5.5 apresenta ficha descritiva da estrutura com dados gerais do estudo de caso na Ponte sobre o Rio São Tomás realizado no dia 05/01/2011.

| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>                |                                                                          |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Nome:                                                | Ponte sobre o Rio São Tomás.                                             |
| Localização:                                         | Rio São Tomás GO 164 após trevo da BR 452 sentido Santa Helena de Goiás. |
| Data da Inspeção:                                    | 05/01/2011.                                                              |
| Extensão:                                            | 70 metros.                                                               |
| Idade:                                               |                                                                          |
| Número de vãos:                                      | 3 (três).                                                                |
| Sistema Construtivo:                                 | Convencional.                                                            |
| Largura:                                             | 8,30 m de pista.                                                         |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003) : | I (rural) - Fraca.                                                       |
| Observações:                                         | _____                                                                    |
| _____                                                |                                                                          |
| RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                      |                                                                          |
| Nome (s):                                            | Priscilla Euqeres.                                                       |
| Profissão:                                           | Engenheira Civil.                                                        |
| Cargo/Função:                                        | Mestranda em Engenharia Civil.                                           |
| Empresa/órgão:                                       | UFG.                                                                     |
| Projetos consultados:                                | SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                                               |
| Empresa Construtora e Projetista:                    | SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                                               |

Figura 5.5 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Rio São Tomás – GO

Algumas fotos ilustrativas do local são apresentadas pela Figura 5.6.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5.6 – Fotos da Ponte sobre o Rio São Tomás localizada na GO 164 entre as cidades de Itumbiara e S<sup>ta</sup> Helena. (a) Vista superior da Ponte; (b) Guarda-Rodas à Jusante do Rio; (c) Vista de danos na Laje em Balanço (à jusante); (d) e (e) Vista do inferior da Ponte; (f) Aparelho de Apoio danificado.



### 5.2.1 Resultados Encontrados

A análise dos elementos da ponte se deu através do preenchimento in loco de tabelas conforme o exemplo dado pela Figura 5.7. O método e sequência e como foi feita a avaliação está descrita no item 5.1.

|                           |                      |      |      |
|---------------------------|----------------------|------|------|
| Nome do Elemento:         | VP1 (Viga Principal) |      |      |
| Local:                    | Jusante              |      |      |
| Danos                     | Fp                   | Fi   | D    |
| Carbonatação              | 3,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Cobrimento deficiente     | 3,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Contaminação por cloretos | 4,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Corrosão de armaduras     | 5,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Desagregação              | 3,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Desplacamento             | 3,00                 | 1,00 | 2,40 |
| Eflorescência             | 2,00                 | 2,00 | 3,20 |
| Falha de concretagem      | 2,00                 | 1,00 | 1,60 |
| Fissuras                  | 3,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Flechas                   | 5,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Manchas                   | 3,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Sinais de esmagamento     | 4,00                 | 0,00 | 0,00 |
| Umidade na base           | 3,00                 | 0,00 | 0,00 |

Figura 5.7 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP1 (viga principal 1) à jusante, da Ponte sobre o Rio São Tomás – GO164

A tabela 5.4 apresenta os resultados obtidos da análise dos elementos da ponte supracitada.

Tabela 5.4 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano ( $\sum D$ ), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão São Tomás

| Elementos                                                        | $\sum D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| P1; P2; P3; P4; P5; P6; P7; P8                                   | 3,20     | 3,20     | 4,38     |
| VP1                                                              | 7,20     | 4,98     | 6,02     |
| VP2                                                              | 4,80     | 4,27     |          |
| VTA1; VTA2; VTA3; VTA4;<br>VTV1; VTV2; VTV3; VTV4;<br>VTV5; VTV6 | 3,20     | 3,20     | 4,43     |
| VT1; VT2                                                         | 3,20     | 3,20     |          |
| LB1                                                              | 46,40    | 35,59    | 44,87    |
| LB2                                                              | 44,80    | 35,14    |          |
| LC                                                               | 16,00    | 16,00    |          |
| GR1; GR2                                                         | 63,20    | 63,04    | 77,21    |
| Pista                                                            | 12,00    | 12,00    | 12,00    |
| A.A.                                                             | 40,00    | 40,00    | 54,77    |

Com os valores apresentados na Tabela 5.4, calculou-se o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) que está discriminado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5– Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Rio São Tomás

| Família           | $G_{df}$ | Fr          | $G_{df} \times Fr$ |
|-------------------|----------|-------------|--------------------|
| Pilar             | 4,38     | 5,00        | 21,90              |
| Vigas Principais  | 6,02     | 5,00        | 30,10              |
| Vigas Secundárias | 4,43     | 4,00        | 17,72              |
| Laje              | 44,87    | 4,00        | 179,48             |
| Barreira          | 77,21    | 1,00        | 77,21              |
| Pista             | 12,00    | 2,00        | 24,00              |
| A.A               | 54,78    | 4,00        | 219,12             |
| Somatório =       |          | 25,00       | 593,73             |
|                   |          | <b>Gd =</b> | <b>23,75</b>       |

### 5.2.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Rio São Tomás

Com os resultados apresentados no item 5.2.1 através da análise feita por meio da metodologia desenvolvida no Capítulo 4 observou-se que a ponte em questão não apresenta níveis de deterioração para o Grau de Deterioração da Família ( $G_{df}$ ) preocupante, salvo a família de Lajes, Barreiras e de Aparelho de Apoio que estão classificados em MÉDIO pra Lajes e ALTO para Barreiras e Aparelho de Apoio. Porém mesmo a Família de Barreira estar com o nível de deterioração classificado como ALTO esta não influi muito para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura como um todo, pois seu fator de relevância é muito baixo em termos estruturais.

Após então calculado o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) obteve-se o valor de 23,75 conforme apresentado na Tabela 5.4, sendo classificado como MÉDIO o nível de deterioração global. Este fator é explicado pelo nível de deterioração mais alto estar em elementos não muito importantes em termos estruturais (Barreiras), admitindo-se que o prazo para as ações seja de no máx. 2 anos.

A Tabela 5.6 apresenta uma síntese dos resultados encontrados na ponte supracitada.

Tabela 5.6 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Rio São Tomás

| SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS |                                                       |       |       |                       |                                                                                                                                  |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------|-------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FAMÍLIA DE ELEMENTOS               | ELEMENTO DETERIORADO                                  | Gde   | Gdf   | NÍVEL DE DETERIORAÇÃO | AÇÕES                                                                                                                            |
| Pista                              | pista                                                 | 12,00 | 12,00 | Baixo                 | Intervir prioritariamente nos aparelhos de apoio, trocando-os.                                                                   |
| Pilar                              | P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8                               | 3,20  | 4,38  | Baixo                 |                                                                                                                                  |
| Viga Principal                     | VP1                                                   | 4,98  | 6,02  | Baixo                 |                                                                                                                                  |
|                                    | VP2                                                   | 4,27  |       |                       |                                                                                                                                  |
| Viga Secundária                    | VTA 1, VTA2, VTA3,VTA4                                | 3,20  | 4,43  | Baixo                 |                                                                                                                                  |
|                                    | VTV1, VTV2, VTV3, VTV4,VTV5,VTV6                      | 3,20  |       |                       |                                                                                                                                  |
|                                    | VT1, VT2                                              | 3,20  |       |                       |                                                                                                                                  |
| Laje                               | LB1                                                   | 35,59 | 44,87 | Médio                 |                                                                                                                                  |
|                                    | LB2                                                   | 35,14 |       |                       |                                                                                                                                  |
|                                    | LC                                                    | 16,00 |       |                       |                                                                                                                                  |
| Barreira                           | GR1, GR2                                              | 63,04 | 77,21 | Alto                  |                                                                                                                                  |
| Aparelho de Apoio                  | A.A.1,A.A.2, A.A.3, A.A.4, A.A.5, A.A.6, A.A.7, A.A.8 | 40,00 | 54,77 | Alto                  |                                                                                                                                  |
| ESTRUTURA                          | Gd = 23,75                                            |       |       | Médio                 | Com prazo máximo de 2 anos, após ter se dado a troca dos aparelhos de apoio, pode-se concluir intervenção completa na estrutura. |

### 5.3 ESTUDO DA PONTE SOBRE RIO VERDÃO

A Figura 5.8 apresenta ficha descritiva da estrutura com dados gerais do estudo de caso na Ponte sobre o Rio Verdão realizado no dia 05/01/2011.

| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>                                   |                            |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Nome: Ponte sobre o Rio Verdão.                                         |                            |
| Localização: Rio Verdão GO 325 Km 63.                                   |                            |
| Data da Inspeção: 05/01/2011.                                           | Extensão: 150 metros.      |
| Idade:                                                                  | Número de vãos: 5 (cinco). |
| Sistema Construtivo: Convencional.                                      |                            |
| Largura: 8,30 m de pista.                                               |                            |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003) : I (rural) - Fraca. |                            |
| Observações: _____<br>_____.                                            |                            |
| RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                                         |                            |
| Nome (s): Priscilla Euqueres.                                           |                            |
| Profissão: Engenheira Civil.                                            |                            |
| Cargo/Função: Mestranda em Engenharia Civil.                            |                            |
| Empresa/órgão: UFG.                                                     |                            |
| Projetos consultados: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                        |                            |
| Empresa Construtora e Projetista: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.            |                            |

Figura 5.8 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Rio Verdão – GO

Algumas fotos ilustrativas do local são apresentadas pela Figura 5.9.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 5.9 – Fotos da Ponte sobre o Rio Verdão localizada na GO 325 (a) Vista superior da Ponte; (b) Vista da Lateral à montante do Rio; (c) e (d) Vista de danos na Laje em Balanço (à jusante); (e) Formação de estalactites na Laje central.

### 5.3.1 Resultados Encontrados

A análise dos elementos da ponte se deu através do preenchimento in loco de tabelas conforme o exemplo dado pela Figura 5.10.

|                           |                       |      |       |
|---------------------------|-----------------------|------|-------|
| Nome do Elemento:         | LB2 (Laje em Balanço) |      |       |
| Local:                    | Jusante               |      |       |
| Danos                     | Fp                    | Fi   | D     |
| Carbonatação              | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Cobrimento deficiente     | 3,00                  | 3,00 | 24,00 |
| Contaminação por cloretos | 4,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Corrosão de armaduras     | 5,00                  | 3,00 | 40,00 |
| Desagregação              | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Desplacamento             | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Eflorescência             | 2,00                  | 3,00 | 16,00 |
| Falha de concretagem      | 2,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Fissuras                  | 4,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Flechas                   | 5,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Manchas                   | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Sinais de esmagamento     | 4,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Umidade na base           | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |

Figura 5.10 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento LB2 (laje me balanço 2) à jusante, da Ponte sobre o Rio Verdão – GO325.

A tabela 5.7 apresenta os resultados obtidos da análise dos elementos da ponte supracitada.

Tabela 5.7 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Rio Verdão

| Elementos    | $\sum D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|--------------|----------|----------|----------|
| Pilares      | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| VP1          | 6,40     | 4,80     | 20,49    |
| VP2          | 19,20    | 18,67    |          |
| VTV1 à VTV15 | 3,2      | 3,2      | 4,48     |
| VTA1 à VTA6  | 3,2      | 3,2      |          |
| VT1 à VT6    | 3,2      | 3,2      |          |
| LB1          | 0,00     | 0,00     | 68,44    |
| LB2          | 80,00    | 60,00    |          |
| LC           | 67,20    | 56,19    |          |

Com os valores apresentados na Tabela 5.7, calculou-se o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) que está discriminado na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Rio Verdão

| Família           | Gdf   | Fr    | Gdf x Fr     |
|-------------------|-------|-------|--------------|
| Vigas Principais  | 20,49 | 5,00  | 102,45       |
| Vigas Secundárias | 4,48  | 4,00  | 17,92        |
| Lajes             | 68,44 | 4,00  | 273,76       |
| Somatório =       |       | 13,00 | 394,13       |
| <b>Gd =</b>       |       |       | <b>30,32</b> |

### 5.3.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Rio Verdão

Como a extensão desta ponte é muito maior que as demais, a visualização de muitos itens ficou um tanto quanto prejudicada.

Os itens mais relevantes, como Vigas e Lajes puderam ser avaliados, porém deve-se salientar que os valores atribuídos para lajes foram apenas na parte onde se conseguiu ter boa visualização, sendo que no vão central a visualização foi prejudicada.

Deste modo, calcularam-se apenas os graus de deterioração das famílias de elementos que puderam ser analisadas.

A família de Lajes está com maior nível de deterioração sendo classificado como ALTO, porém o fator de relevância não é o maior entre as famílias que se foi possível analisar, assim o nível de deterioração da estrutura global foi classificado como MÉDIO apresentando um Grau de deterioração de 30,32.

Como a ponte aqui analisada fugiu do padrão das pontes que já haviam sido estudadas, quanto à extensão, algumas dificuldades foram encontradas ao longo da análise, podendo destacar a análise dos elementos presentes no vão central, onde o campo de visão é afetado tanto pela distância quanto pelas transversinas presentes.

Deste modo vale ressaltar que onde a ponte tem extensão muito grande (maior que 70m), seja mais interessante que após análise prévia a intervenção do elemento isolado, seja o mais indicado e que uma análise mais profunda seja feita, se possível com ajuda de elementos náuticos, para que se avaliem os vãos medianos.

A Tabela 5.9 apresenta uma síntese dos resultados encontrados para esta ponte.

Tabela 5.9 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Rio Verdão

| SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS |                                   |       |       |                       |                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FAMÍLIA DE ELEMENTOS               | ELEMENTO DETERIORADO              | Gde   | Gdf   | NÍVEL DE DETERIORAÇÃO | AÇÕES                                                                                                                                                                                                                                |
| Pista                              | pista                             | 0,00  | 0,00  | Baixo                 | Ponte com extensão superior a 70m. Realizar inspeção mais completa com equipamentos q permitam análise de vãos medianos. A priore deve realizar intervenção na LB2, a fim de sanar o problema mais grave visualizado nesta inspeção. |
| Pilar                              | P                                 | 0,00  | 0,00  | Baixo                 |                                                                                                                                                                                                                                      |
| Viga Principal                     | VP1                               | 4,80  | 20,49 | Médio                 |                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                    | VP2                               | 18,67 |       |                       |                                                                                                                                                                                                                                      |
| Viga Secundária                    | VTA 1, VTA2, VTA3,VTA4,VTV5,VT V6 | 3,20  | 4,48  | Baixo                 |                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                    | VTV1 à VTV15                      | 3,20  |       |                       |                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                    | VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6      | 3,20  |       |                       |                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                    |                                   |       |       |                       |                                                                                                                                                                                                                                      |
| Laje                               | LB1                               | 0,00  | 68,44 | Alto                  |                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                    | LB2                               | 60,00 |       |                       |                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                    | LC                                | 56,19 |       |                       |                                                                                                                                                                                                                                      |
| Barreira                           | GR                                | 0,00  | 0,00  | Baixo                 |                                                                                                                                                                                                                                      |
| Aparelho de Apoio                  | A.A.                              | 0,00  | 0,00  | Baixo                 |                                                                                                                                                                                                                                      |
| ESTRUTURA                          | Gd = 30,32                        |       |       | Médio                 | Com prazo máximo de 2 anos realizar nova inspeção mais completa e intervir na LB2.                                                                                                                                                   |



#### 5.4 ESTUDO DA PONTE SOBRE RIBEIRÃO CANTAGALO

A Figura 5.11 apresenta ficha descritiva da estrutura com dados gerais do estudo de caso na Ponte sobre o Ribeirão Cantagalo realizado no dia 07/01/2011.

| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>               |                                                                |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Nome:                                               | Ponte sobre o Ribeirão Cantagalo.                              |
| Localização:                                        | Ribeirão Cantagalo GO 206 entre Cachoeira Dourada e Nilópolis. |
| Data da Inspeção:                                   | 07/01/2011.                                                    |
| Extensão:                                           | 40 metros.                                                     |
| Idade:                                              | Número de vãos: 1 (um).                                        |
| Sistema Construtivo:                                | Convencional.                                                  |
| Largura:                                            | 7,30 m de pista.                                               |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003): | I (rural) - Fraca.                                             |
| Observações:                                        | _____                                                          |
| _____                                               |                                                                |
| RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                     |                                                                |
| Nome (s):                                           | Priscilla Euqueres.                                            |
| Profissão:                                          | Engenheira Civil.                                              |
| Cargo/Função:                                       | Mestranda em Engenharia Civil.                                 |
| Empresa/órgão:                                      | UFG.                                                           |
| Projetos consultados:                               | SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                                     |
| Empresa Construtora e Projetista:                   | SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                                     |

Figura 5.11 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Ribeirão Cantagalo – GO.

Algumas fotos ilustrativas do local são apresentadas pela Figura 5.12.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 5.12 – Fotos da Ponte sobre o Ribeirão Cantagalo localizada na GO 206 entre as cidades de Cachoeira Dourada e Nilópolis. (a) Vista superior da Ponte; (b) Armadura exposta na Laje em balanço à Jusante do Rio; (c) Vista de danos na Laje em Balanço (à montante); (d) Armadura exposta no encontro pilar e fundação (à montante); (e) Vista do inferior da Ponte.

### 5.4.1 Resultados Encontrados

A análise dos elementos da ponte se deu através do preenchimento in loco de tabelas conforme o exemplo dado pela Figura 5.13.

|                           |                      |      |       |
|---------------------------|----------------------|------|-------|
| Nome do Elemento:         | VP1 (Viga Principal) |      |       |
| Local:                    | Jusante              |      |       |
| Danos                     | Fp                   | Fi   | D     |
| Carbonatação              | 3,00                 | 0,00 | 0,00  |
| Cobrimento deficiente     | 3,00                 | 0,00 | 0,00  |
| Contaminação por cloretos | 4,00                 | 0,00 | 0,00  |
| Corrosão de armaduras     | 5,00                 | 0,00 | 0,00  |
| Desagregação              | 3,00                 | 0,00 | 0,00  |
| Desplacamento             | 3,00                 | 0,00 | 0,00  |
| Eflorescência             | 2,00                 | 1,00 | 1,60  |
| Falha de concretagem      | 2,00                 | 1,00 | 1,60  |
| Fissuras                  | 4,00                 | 3,00 | 32,00 |
| Flechas                   | 5,00                 | 0,00 | 0,00  |
| Manchas                   | 3,00                 | 0,00 | 0,00  |
| Sinais de esmagamento     | 4,00                 | 0,00 | 0,00  |
| Umidade na base           | 3,00                 | 0,00 | 0,00  |

Figura 5.13 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP1 (viga principal 1) à jusante, da Ponte sobre o Ribeirão Cantagalo – GO206.

A tabela 5.10 apresenta os resultados obtidos da análise dos elementos da ponte supracitada.

Tabela 5.10 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Cantagalo.

| Elementos | $\sum D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|-----------|----------|----------|----------|
| P1        | 64,00    | 55,00    | 55,00    |
| P2;P3:P4  | 0,00     | 0,00     |          |
| VP1       | 0,00     | 0,00     | 34,91    |
| VP2       | 35,20    | 34,91    |          |
| LB1       | 84,80    | 61,13    | 150,94   |
| LB2       | 144,80   | 130,94   |          |
| LC        | 0,00     | 0,00     |          |
| Tb1       | 2,40     | 2,40     | 2,40     |
| Tb2       | 0,00     | 0,00     |          |

Com os valores apresentados na Tabela 5.10, calculou-se o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) que está discriminado na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Cantagalo.

| Família          | Gdf    | Fr          | Gdf x Fr     |
|------------------|--------|-------------|--------------|
| Pilar            | 55,00  | 5,00        | 275,00       |
| Vigas Principais | 34,91  | 5,00        | 174,55       |
| Laje             | 150,34 | 4,00        | 601,36       |
| Fundação         | 2,40   | 4,00        | 9,60         |
| Somatório =      |        | 18,00       | 1060,51      |
|                  |        | <b>Gd =</b> | <b>58,92</b> |

#### 5.4.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Ribeirão Cantagalo

Conforme resultados apresentados no item 5.4.1, observou-se que a ponte apresenta os resultados individuais do Grau de Deterioração da Família muito preocupantes, salvo a família de Fundações o qual é o único que está com nível de deterioração classificado como BAIXO e as outras famílias estão todas classificadas com nível de deterioração em estado CRÍTICO.

Vale ressaltar que os Aparelhos de Apoio da ponte em questão não estão visíveis, estando totalmente obstruído o local onde devem estar os aparelhos de apoio.

Com o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) chegamos ao valor de 58,92, sendo classificado como ALTO o nível de deterioração global sendo este fator explicado pelos níveis das famílias de elementos de pilares e lajes apresentarem valores variando em alto e sofrível, respectivamente.

Deve-se também salientar que o valor encontrado está classificado como nível ALTO de deterioração, mas pode-se admitir que a melhor opção de intervenção para este caso é adotar uma intervenção imediatamente em caráter emergencial e pontual, localizada nos elementos tais como Pilar P1, Viga VP2, Lajes em Balaço LB1 e LB2 e em sequência nos outros elementos tais como os Aparelhos de Apoio que não puderam ser visualizados.

A tabela 5.12 apresenta a síntese dos resultados encontrados na avaliação da ponte sobre o Ribeirão Cantagalo.

Tabela 5.12 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Ribeirão Cantagalo

| SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS |                      |        |        |                       |                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------|----------------------|--------|--------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FAMÍLIA DE ELEMENTOS               | ELEMENTO DETERIORADO | Gde    | Gdf    | NÍVEL DE DETERIORAÇÃO | AÇÕES                                                                                                                                                                          |
| Pista                              | pista                | 0,00   | 0,00   | Baixo                 | Intervir imediatamente na família de Lajes a fim de respaldar por mais tempo a durabilidade da estrutura como um todo. Providenciar escoramento e limitar o tráfego na região. |
| Pilar                              | P1                   | 55,00  | 55,00  | Alto                  |                                                                                                                                                                                |
| Viga Principal                     | VP1                  | 0,00   | 34,91  | Médio                 |                                                                                                                                                                                |
|                                    | VP2                  | 34,91  |        |                       |                                                                                                                                                                                |
| Viga Secundária                    | VTA                  | 0,00   | 0,00   | Baixo                 |                                                                                                                                                                                |
|                                    | VTV                  | 0,00   |        |                       |                                                                                                                                                                                |
|                                    | VT                   | 0,00   |        |                       |                                                                                                                                                                                |
| Laje                               | LB1                  | 61,13  | 150,94 | Crítico               |                                                                                                                                                                                |
|                                    | LB2                  | 130,94 |        |                       |                                                                                                                                                                                |
|                                    | LC                   | 0,00   |        |                       |                                                                                                                                                                                |
| Tubulão                            | Tb1                  | 2,40   | 2,40   | Baixo                 |                                                                                                                                                                                |
| Aparelho de Apoio                  | A.A.                 | 0,00   | 0,00   | Baixo                 |                                                                                                                                                                                |
| ESTRUTURA                          | Gd = 58,92           |        |        | Alto                  | Durante o prazo máximo de 18 meses, realizar primeiramente intervenção na família de lajes e consequentemente na VP2 e P1.                                                     |

## 5.5 ESTUDO DA PONTE SOBRE RIO CAMPANHA

A Figura 5.14 apresenta ficha descritiva da estrutura com dados gerais do estudo de caso na Ponte sobre o Rio Campanha realizado no dia 07/01/2011.

| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>                                  |                           |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Nome: Ponte sobre o Rio Campanha.                                      |                           |
| Localização: Rio Campanha GO 206, Km 49 após Almeirindonópolis.        |                           |
| Data da Inspeção: 07/01/2011.                                          | Extensão: 70 metros.      |
| Idade:                                                                 | Número de vãos: 2 (dois). |
| Sistema Construtivo: Convencional.                                     |                           |
| Largura: 8,20 m de pista.                                              |                           |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003): I (rural) - Fraca. |                           |
| Observações: _____<br>_____.                                           |                           |
| RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                                        |                           |
| Nome (s): Priscilla Euqueres.                                          |                           |
| Profissão: Engenheira Civil.                                           |                           |
| Cargo/Função: Mestranda em Engenharia Civil.                           |                           |
| Empresa/órgão: UFG.                                                    |                           |
| Projetos consultados: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                       |                           |
| Empresa Construtora e Projetista: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.           |                           |

Figura 5.14 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Rio Campanha – GO.

Algumas fotos ilustrativas do local são apresentadas pela Figura 5.15.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 5.15 – Fotos da Ponte sobre o Rio Campanha localizada na GO 206 após a cidade de Almerindonópolis. (a) Vista superior da Ponte; (b) Armadura exposta encontro viga/pilar e AA muito fissurado; (c) Vista de falha de concretagem e armadura exposta no fundo da VP2 (à jusante); (d) AA de outro pilar também muito fissurado; (e) Vista do inferior da Ponte.

### 5.5.1 Resultados Encontrados

A análise dos elementos da ponte se deu através do preenchimento in loco de tabelas conforme Figura 5.16.

|                           |                       |      |       |
|---------------------------|-----------------------|------|-------|
| Nome do Elemento:         | LB2 (Laje em Balanço) |      |       |
| Local:                    | Montante              |      |       |
| Danos                     | Fp                    | Fi   | D     |
| Carbonatação              | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Cobrimento deficiente     | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Contaminação por cloretos | 4,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Corrosão de armaduras     | 5,00                  | 2,00 | 8,00  |
| Desagregação              | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Desplacamento             | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Eflorescência             | 2,00                  | 3,00 | 16,00 |
| Falha de concretagem      | 2,00                  | 3,00 | 16,00 |
| Fissuras                  | 4,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Flechas                   | 5,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Manchas                   | 3,00                  | 2,00 | 4,80  |
| Umidade na base           | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |

Figura 5.16 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento LB2 (laje em balanço 2) à montante, da Ponte sobre o Rio Campanha – GO206

A tabela 5.13 apresenta os resultados obtidos da análise dos elementos da ponte supracitada.

Tabela 5.13 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Rio Campanha.

| Elementos                                       | $\sum D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|-------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| P1                                              | 24,00    | 24,00    | 24,00    |
| P2;P3;P4;P5;P6                                  | 0,00     | 0,00     |          |
| VP1                                             | 19,20    | 18,67    | 22,87    |
| VP2                                             | 19,20    | 18,67    |          |
| VTA2; VTA3; VTV1, VTV2;<br>VTV3; VTV4; VT1; VT2 | 3,20     | 3,20     | 20,66    |
| VTA1                                            | 16,00    | 16,00    |          |
| LB1                                             | 20,80    | 19,69    | 33,00    |
| LB2                                             | 44,80    | 26,29    |          |
| LC                                              | 16,00    | 16,00    |          |
| GR1; GR2                                        | 24,00    | 24,00    | 29,39    |
| AA1;AA2;AA3;AA4;AA5;AA6                         | 100,00   | 100,00   | 135,40   |



Com os valores apresentados na Tabela 5.13, calculou-se o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) que está discriminado na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Rio Campanha.

| Família                | Gdf    | Fr          | Gdf x Fr     |
|------------------------|--------|-------------|--------------|
| Pilar                  | 24,00  | 5,00        | 120,00       |
| Vigas Principais       | 22,87  | 5,00        | 114,35       |
| Laje                   | 33,00  | 4,00        | 132,00       |
| Vigas Secundárias      | 20,66  | 4,00        | 82,64        |
| A.A                    | 135,40 | 4,00        | 541,60       |
| Barreiras/Guarda-rodas | 29,39  | 1,00        | 29,39        |
| Somatório =            |        | 23,00       | 1019,98      |
|                        |        | <b>Gd =</b> | <b>44,35</b> |

### 5.5.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Rio Campanha

A ponte apresenta os resultados individuais do Grau de Deterioração da Família em sua maioria classificados em MÉDIO e apenas na família dos Aparelhos de Apoio apresentaram nível de classificação muito preocupante (CRÍTICO).

Depois de calculado o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) obteve-se o valor de 44,35, classificada com nível MÉDIO de deterioração.

Apesar do nível de deterioração da Estrutura ter sido MÉDIO, vale ressaltar que o este valor está muito próximo do limite máximo para essa classificação que é de (50,00), portanto o item que mais contribuiu para essa classificação foi a família de AA, sendo assim recomenda-se que seja feita uma intervenção imediata nos A.A, trocando-os, desta forma consegue-se diminuir o nível de deterioração da estrutura por um todo e podendo-se obter um prazo maior para que se realizem as demais intervenções.

A tabela 5.15 apresenta a síntese dos resultados encontrados na inspeção da ponte sobre o Rio Campanha.

Tabela 5.15 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Rio Campanha

| SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS |                                          |        |        |                       |                                                                                                                                  |
|------------------------------------|------------------------------------------|--------|--------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FAMÍLIA DE ELEMENTOS               | ELEMENTO DETERIORADO                     | Gde    | Gdf    | NÍVEL DE DETERIORAÇÃO | AÇÕES                                                                                                                            |
| Pista                              | pista                                    | 0,00   | 0,00   | Baixo                 | Intervir imediatamente nos aparelhos de apoio, os quais estão bem debilitados.                                                   |
| Pilar                              | P1                                       | 24,00  | 24,00  | Médio                 |                                                                                                                                  |
| Viga Principal                     | VP1                                      | 18,67  | 22,87  | Médio                 |                                                                                                                                  |
|                                    | VP2                                      | 18,67  |        |                       |                                                                                                                                  |
| Viga Secundária                    | VTA2, VTA3                               | 3,20   | 20,66  | Médio                 |                                                                                                                                  |
|                                    | VTV1, VTV2, VTV3,VTV4                    | 3,20   |        |                       |                                                                                                                                  |
|                                    | VTA1                                     | 16,00  |        |                       |                                                                                                                                  |
| Laje                               | LB1                                      | 19,69  | 33,00  | Médio                 |                                                                                                                                  |
|                                    | LB2                                      | 16,29  |        |                       |                                                                                                                                  |
|                                    | LC                                       | 16,00  |        |                       |                                                                                                                                  |
| Barreiras                          | GR1,GR2                                  | 24,00  | 29,39  | Médio                 |                                                                                                                                  |
| Aparelho de Apoio                  | A.A.1, A.A.2, A.A.3, A.A.4, A.A.5, A.A.6 | 100,00 | 135,40 | Crítico               |                                                                                                                                  |
| ESTRUTURA                          | Gd = 44,35                               |        |        | Médio                 | Com prazo máximo de 2 anos, após ter se dado a troca dos aparelhos de apoio, pode-se concluir intervenção completa na estrutura. |

## 5.6 ESTUDO DA PONTE SOBRE RIO MEIA PONTE (GO 206)

A Figura 5.17 apresenta ficha descritiva da estrutura com dados gerais do estudo de caso na Ponte sobre o Rio Meia Ponte realizado no dia 07/01/2011.

| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>                                           |                            |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Nome: Ponte sobre o Rio Meia Ponte.                                             |                            |
| Localização: Rio Meia Ponte GO 206 entre Cachoeira Dourada e Almeirindonópolis. |                            |
| Data da Inspeção: 07/01/2011.                                                   | Extensão: 150 metros.      |
| Idade:                                                                          | Número de vãos: 5 (cinco). |
| Sistema Construtivo: Convencional.                                              |                            |
| Largura: 7,20 m de pista.                                                       |                            |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003): I (rural) - Fraca.          |                            |
| Observações: _____<br>_____.                                                    |                            |
| RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                                                 |                            |
| Nome (s): Priscilla Euqueres.                                                   |                            |
| Profissão: Engenheira Civil.                                                    |                            |
| Cargo/Função: Mestranda em Engenharia Civil.                                    |                            |
| Empresa/órgão: UFG.                                                             |                            |
| Projetos consultados: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                                |                            |
| Empresa Construtora e Projetista: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                    |                            |

Figura 5.17 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Rio Meia Ponte – GO.

Algumas fotos ilustrativas do local são apresentadas pela Figura 5.18.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5.18 – Fotos da Ponte sobre o Rio Meia Ponte localizada na GO 206 entre Cachoeira Dourada e Almeirindonópolis. (a) Vista superior da Ponte; (b) Vista inferior da ponte; (c) Vista lateral (à jusante) da ponte; (d) AA com deformações excessivas; (e) Vista de armadura exposta no topo da fundação; (f) armadura corroída na lateral externa da Viga Principal.

### 5.6.1 Resultados Encontrados

A análise dos elementos da ponte se deu através do preenchimento in loco de tabelas conforme o exemplo apresentado na Figura 5.19.

|                           |                       |      |       |
|---------------------------|-----------------------|------|-------|
| Nome do Elemento:         | LB2 (Laje em Balanço) |      |       |
| Local:                    | Montante              |      |       |
| Danos                     | Fp                    | Fi   | D     |
| Carbonatação              | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Cobrimento deficiente     | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Contaminação por cloretos | 4,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Corrosão de armaduras     | 5,00                  | 2,00 | 8,00  |
| Desagregação              | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Desplacamento             | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Eflorescência             | 2,00                  | 3,00 | 16,00 |
| Falha de concretagem      | 2,00                  | 3,00 | 16,00 |
| Fissuras                  | 4,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Flechas                   | 5,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Manchas                   | 3,00                  | 2,00 | 4,80  |
| Umidade na base           | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |

Figura 5.19 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento LB2 (laje em balanço 2) à montante, da Ponte sobre o Rio Meia Ponte – GO206.

A tabela 5.16 apresenta os resultados obtidos da análise dos elementos da ponte supracitada.

Tabela 5.16 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Rio Meia Ponte (GO206).

| Elementos   | $\sum D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|-------------|----------|----------|----------|
| P1 ao P12   | 3,20     | 3,20     | 4,43     |
| VP1         | 3,20     | 3,20     | 41,46    |
| VP2         | 40,00    | 40,00    |          |
| VT1 à VT6   | 3,20     | 3,20     | 4,48     |
| VT1 à VT6   | 3,20     | 3,20     |          |
| VTA1 à VTA6 | 3,20     | 3,20     |          |
| LB1         | 3,20     | 3,20     | 3,20     |
| LB2; LC     | 0,00     | 0,00     |          |
| GR1; GR2    | 3,20     | 3,20     | 3,92     |
| Tb1         | 24,00    | 24,00    | 24,00    |
| Pista       | 40,00    | 40,00    | 40,00    |
| AA1         | 40,00    | 40,00    | 40,00    |

Com os valores apresentados na Tabela 5.16, calculou-se o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) que está discriminado na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Rio Meia Ponte (GO 206).

| Família                | $G_{df}$ | Fr          | $G_{df} \times Fr$ |
|------------------------|----------|-------------|--------------------|
| Pilar                  | 4,43     | 5,00        | 22,15              |
| Vigas Principais       | 41,46    | 5,00        | 207,30             |
| Laje                   | 3,20     | 4,00        | 12,80              |
| Vigas Secundárias      | 4,48     | 4,00        | 17,92              |
| A.A                    | 40,00    | 4,00        | 160,00             |
| Barreiras/Guarda-rodas | 3,92     | 1,00        | 3,92               |
| Pista                  | 40,00    | 2,00        | 80,00              |
| Fundação               | 24,00    | 4,00        | 48,00              |
| Somatório =            |          | 29,00       | 552,09             |
|                        |          | <b>Gd =</b> | <b>19,03</b>       |

### **5.6.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Rio Meia Ponte (GO 206)**

Assim como a ponte do Rio Verdão apresentada no item 5.2, a ponte sobre o Rio Meia Ponte apresentada neste item possui 150m de extensão, porém o grau de dificuldade para análise foi menor que a encontrada no Rio Verdão.

Um dos motivos para a análise desta ponte ter sido menos dificultosa é o fato do primeiro vão não ser alagado pelo rio, fazendo com que fosse possível chegar bem próximo do outro vão, conseguindo assim analisar um maior número de elementos.

Quanto aos resultados os níveis de deterioração em relação à família de elementos é a família de Vigas Principais que obteve o maior grau de deterioração, apresentando um nível de deterioração classificado como MÉDIO.

As famílias de Pista e de Aparelho de apoio possuem grau de deterioração igual a 40,00 e o nível de deterioração também foi classificado como MÉDIO.

Conforme calculado o grau de deterioração da Ponte é de 19,03 classificado como MÉDIO o seu nível de deterioração, porém o grau de deterioração da estrutura em geral foi bem próximo do limite inferior que é de 16,00.

Como o grau de deterioração da estrutura foi bem menor do que da família de elementos, sugere-se a intervenção local dos elementos e depois de concluída a intervenção localizada, repetir a análise inclusive com materiais náuticos a fim de garantir a análise por completo inclusive dos vãos medianos, pois se trata de uma ponte muito extensa conforme concluído na inspeção da Ponte sobre o rio Verdão.

A tabela 5.18 apresenta a síntese dos resultados encontrados na avaliação da ponte sobre o Rio Meia Ponte localizada na GO 206.

Tabela 5.18 – Síntese dos resultados encontrados na ponte sobre o Rio Meia Ponte (GO 206).

| SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS |                      |       |       |                       |                                                                                                                          |
|------------------------------------|----------------------|-------|-------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FAMÍLIA DE ELEMENTOS               | ELEMENTO DETERIORADO | Gde   | Gdf   | NÍVEL DE DETERIORAÇÃO | AÇÕES                                                                                                                    |
| Pista                              | pista                | 40,00 | 40,00 | Médio                 | Como a ponte tem extensão maior que 70m. Realizar inspeção mais detalhada e trocar prioritariamente o aparelho de apoio. |
| Pilar                              | P1 ao P12            | 3,20  | 4,43  | Baixo                 |                                                                                                                          |
| Viga Principal                     | VP1                  | 3,20  | 41,46 | Médio                 |                                                                                                                          |
|                                    | VP2                  | 40,00 |       |                       |                                                                                                                          |
| Viga Secundária                    | VTA1 à VTA6          | 3,20  | 3,20  | Baixo                 |                                                                                                                          |
|                                    | VTV1 à VTV15         | 3,20  |       |                       |                                                                                                                          |
|                                    | VT1 à VT6            | 3,20  |       |                       |                                                                                                                          |
| Laje                               | LB1                  | 3,20  | 3,20  | Baixo                 |                                                                                                                          |
|                                    | LB2                  | 0,00  |       |                       |                                                                                                                          |
|                                    | LC                   | 0,00  |       |                       |                                                                                                                          |
| Barreira                           | GR1, GR2             | 3,20  | 3,92  | Baixo                 |                                                                                                                          |
| Tubulão                            | Tb1                  | 24,00 | 24,00 | Médio                 |                                                                                                                          |
| Aparelho de Apoio                  | A.A.1                | 40,00 | 40,00 | Médio                 |                                                                                                                          |
| ESTRUTURA                          | Gd = 19,03           |       |       | Médio                 | Prazo máximo de 2 anos para intervenção geral.                                                                           |



## 5.7 ESTUDO DA PONTE SOBRE RIBEIRÃO CAPIVARA (SENTIDO GOIÂNIA-NERÓPOLIS)

A Figura 5.20 apresenta ficha descritiva da estrutura com dados gerais do estudo de caso na Ponte sobre o Ribeirão Capivara (sentido de Goiânia para Nerópolis), inspeção realizada no dia 02/03/2011.

| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>                                   |                         |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Nome: Ponte sobre o Ribeirão Capivara.                                  |                         |
| Localização: Ribeirão Capivara GO 080, pista sentido Goiânia Nerópolis. |                         |
| Data da Inspeção: 02/03/2011.                                           | Extensão: 20,20 metros. |
| Idade:                                                                  | Número de vãos: 1 (um). |
| Sistema Construtivo: Convencional.                                      |                         |
| Largura: 8,20 m de pista.                                               |                         |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003): I (rural) - Fraca.  |                         |
| Observações: _____<br>_____.                                            |                         |
| RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                                         |                         |
| Nome (s): Priscilla Euqueres.                                           |                         |
| Profissão: Engenheira Civil.                                            |                         |
| Cargo/Função: Mestranda em Engenharia Civil.                            |                         |
| Empresa/órgão: UFG.                                                     |                         |
| Projetos consultados: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                        |                         |
| Empresa Construtora e Projetista: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.            |                         |

Figura 5.20 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Ribeirão Capivara (Goiânia-Nerópolis) – GO.

Algumas fotos ilustrativas do local são apresentadas pela Figura 5.21.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5.21 – Fotos da Ponte sobre o Ribeirão Capivara localizada na GO 080 sentido de Goiânia para Nerópolis. (a) Vista superior da Ponte; (b) Armadura exposta no Guarda-rodas localizado à montante; (c) Vista de danos na pista; (d) Mancha de corrosão na LBI à jusante; (e) Vista de manchas escuras e sinais de eflorescência no encontro da VP1/VTALC; (f) Vista do inferior da Ponte.

### 5.7.1 Resultados Encontrados

A análise dos elementos da ponte se deu através do preenchimento in loco de tabelas conforme o exemplo dado pela Figura 5.22.

|                           |                        |      |       |
|---------------------------|------------------------|------|-------|
| Nome do Elemento:         | VP1 (Viga Principal 1) |      |       |
| Local:                    | Jusante                |      |       |
| Danos                     | Fp                     | Fi   | D     |
| Carbonatação              | 3,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Cobrimento deficiente     | 3,00                   | 2,00 | 4,80  |
| Contaminação por cloretos | 4,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Corrosão de armaduras     | 5,00                   | 1,00 | 4,00  |
| Desagregação              | 3,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Desplacamento             | 3,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Eflorescência             | 2,00                   | 3,00 | 16,00 |
| Falha de concretagem      | 2,00                   | 0,00 | 16,00 |
| Fissuras                  | 4,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Flechas                   | 5,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Manchas                   | 3,00                   | 3,00 | 24,00 |
| Umidade na base           | 3,00                   | 0,00 | 0,00  |

Figura 5.22 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP1 (viga principal 1) à jusante, da Ponte sobre o Ribeirão Capivara – GO080.

A tabela 5.19 apresenta os resultados obtidos da análise dos elementos da ponte supracitada.

Tabela 5.19 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Capivara.

| Elementos        | $\sum D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|------------------|----------|----------|----------|
| P1;P2;P3;P4      | 8,00     | 6,72     | 8,89     |
| VP1              | 48,8     | 36,20    | 37,64    |
| VP2              | 3,20     | 3,20     |          |
| VTA1;VTA2;       | 44,80    | 35,14    | 44,35    |
| VTV1, VTV2; VTV3 | 3,20     | 3,20     |          |
| VT1;VT2          | 3,20     | 3,20     |          |
| LB1              | 40,00    | 40,00    | 125,20   |
| LC               | 112,80   | 111,35   |          |
| GR1; GR2         | 224,00   | 155,36   | 190,28   |
| Pista            | 56,00    | 51,43    | 51,43    |
| Cort.1           | 40,00    | 40,00    | 40,00    |

Com os valores apresentados na Tabela 5.19, calculou-se o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) que está discriminado na Tabela 5.20.

Tabela 5.20 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Capivara.

| Família                | $G_{df}$ | Fr          | $G_{df} \times Fr$ |
|------------------------|----------|-------------|--------------------|
| Pilar                  | 8,89     | 5,00        | 44,45              |
| Vigas Principais       | 37,64    | 5,00        | 188,20             |
| Laje                   | 125,20   | 4,00        | 500,80             |
| Vigas Secundárias      | 44,35    | 4,00        | 177,40             |
| Pista                  | 51,43    | 2,00        | 102,86             |
| Barreiras/Guarda-rodas | 190,28   | 1,00        | 190,28             |
| Cortinas               | 40,00    | 3,00        | 120,00             |
| Somatório =            |          | 24,00       | 1323,99            |
|                        |          | <b>Gd =</b> | <b>55,17</b>       |

### 5.7.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Ribeirão Capivara (Sentido Goiânia-Nerópolis)

Conforme resultados apresentados no Item 5.7.1 obtidos através da análise por meio da metodologia desenvolvida no Capítulo 4 observou-se que a ponte apresenta os resultados individuais do Grau de Deterioração da Família preocupantes apenas para família de Lajes e Guarda-rodas, as quais estão classificadas como CRÍTICO.

Após então calculado o Grau de Deterioração da Estrutura (Gd) obteve-se o valor de 55,17, classificada com nível ALTO de deterioração.

Com o nível de deterioração da Estrutura pode-se definir o prazo de intervenção de prazo curto no máximo de 1 ano, ainda deve-se ressaltar a necessidade de intervenções imediatas a nível de Lajes e Guarda-Rodas, pois foram as famílias que tiveram classificação tidas como CRÍTICA.

A intervenção da pista de rolagem também tem que se dar a prazo curto, pois está classificada com nível ALTO de deterioração.

A tabela 5.21 apresenta uma síntese dos resultados encontrados na avaliação da ponte sobre o Ribeirão Capivara (Sentido Goiânia-Nerópolis).

Tabela 5.21 – Síntese dos Resultados Encontrados na ponte sobre o Ribeirão Capivara (sentido Goiânia-Nerópolis)

| SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS |                      |        |        |                       |                                                                                                                |
|------------------------------------|----------------------|--------|--------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FAMÍLIA DE ELEMENTOS               | ELEMENTO DETERIORADO | Gde    | Gdf    | NÍVEL DE DETERIORAÇÃO | AÇÕES                                                                                                          |
| Pista                              | pista                | 51,43  | 51,43  | Alto                  | Intervir imediatamente na família de lajes, reduzindo tráfego na região.                                       |
| Pilar                              | P1, P2, P3, P4       | 6,72   | 8,89   | Baixo                 |                                                                                                                |
| Viga Principal                     | VP1                  | 36,20  | 37,64  | Médio                 |                                                                                                                |
|                                    | VP2                  | 3,20   |        |                       |                                                                                                                |
| Viga Secundária                    | VTA1, VTA2           | 35,14  | 44,35  | Baixo                 |                                                                                                                |
|                                    | VTV1, VTV2, VTV3     | 3,20   |        |                       |                                                                                                                |
|                                    | VT1, VT2             | 3,20   |        |                       |                                                                                                                |
| Laje                               | LB1                  | 40,00  | 190,28 | Crítico               |                                                                                                                |
|                                    | LB2                  | 0,00   |        |                       |                                                                                                                |
|                                    | LC                   | 111,35 |        |                       |                                                                                                                |
| Cortina                            | Cort. 1              | 40,00  | 40,00  | Médio                 |                                                                                                                |
| ESTRUTURA                          | Gd = 55,17           |        |        | Alto                  | Com prazo máximo de 18 meses, reduzir tráfego imediatamente na região e começar intervenção nas lajes e Vigas. |

## 5.8 ESTUDO DA PONTE SOBRE RIBEIRÃO CAPIVARA (SENTIDO NERÓPOLIS-GOIÂNIA)

A Figura 5.23 apresenta ficha descritiva da estrutura com dados gerais do estudo de caso na Ponte sobre o Ribeirão Capivara (sentido de Nerópolis para Goiânia), inspeção realizada no dia 02/03/2011.

| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>                                   |                         |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Nome: Ponte sobre o Ribeirão Capivara.                                  |                         |
| Localização: Ribeirão Capivara, GO 080 pista sentido Nerópolis/Goiânia. |                         |
| Data da Inspeção: 02/03/2011.                                           | Extensão: 40 metros.    |
| Idade:                                                                  | Número de vãos: 1 (um). |
| Sistema Construtivo: Convencional.                                      |                         |
| Largura: 8,20 m de pista.                                               |                         |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003): I (rural) - Fraca.  |                         |
| Observações: _____<br>_____.                                            |                         |
| RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                                         |                         |
| Nome (s): Priscilla Euqueres.                                           |                         |
| Profissão: Engenheira Civil.                                            |                         |
| Cargo/Função: Mestranda em Engenharia Civil.                            |                         |
| Empresa/órgão: UFG.                                                     |                         |
| Projetos consultados: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                        |                         |
| Empresa Construtora e Projetista: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.            |                         |

Figura 5.23 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Ribeirão Capivara (Nerópolis-Goiânia) – GO.

Algumas fotos ilustrativas do local são apresentadas pela Figura 5.24.

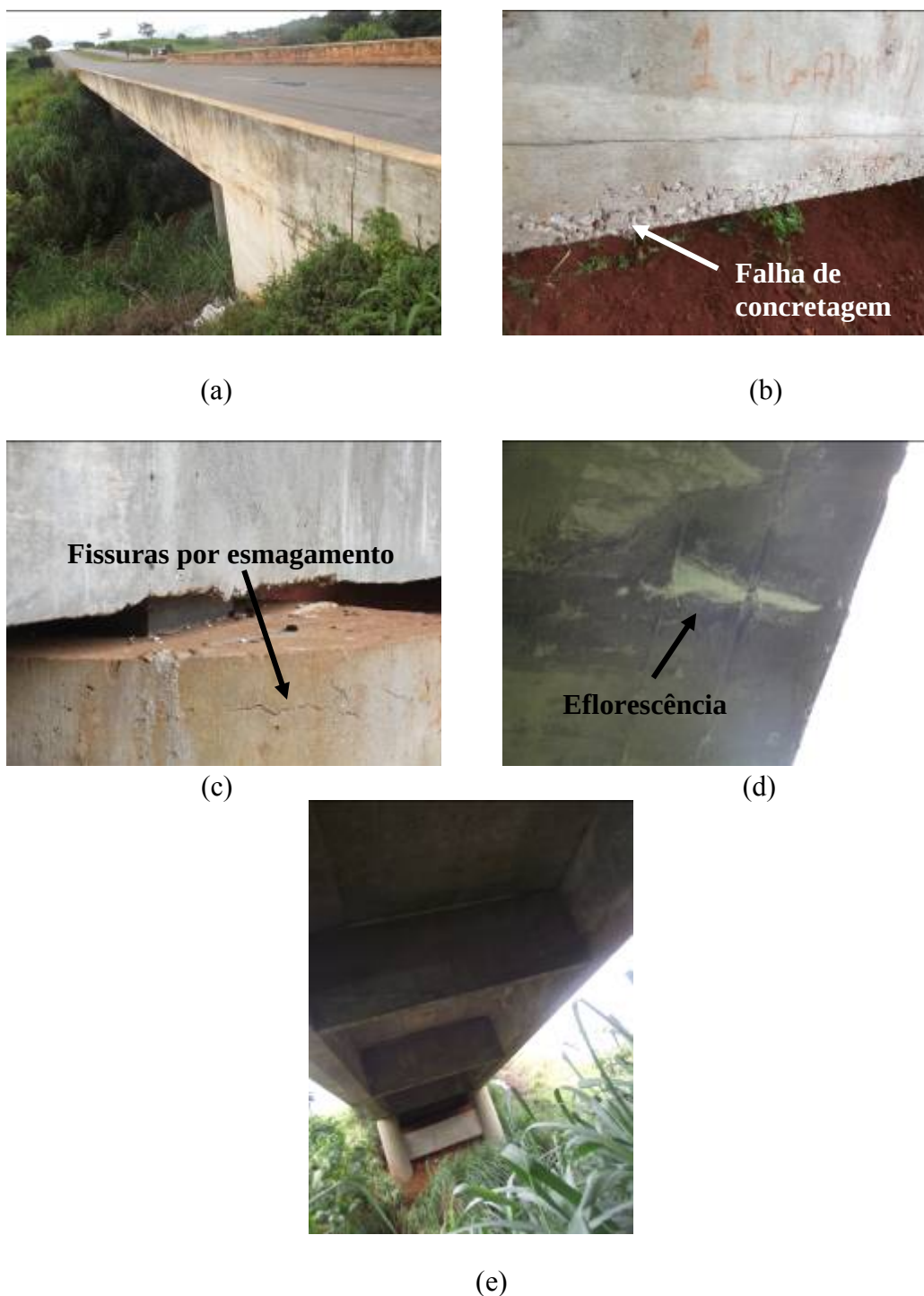


Figura 5.24 – Fotos da Ponte sobre o Ribeirão Capivara localizada na GO 080 sentido de Nerópolis para Goiânia. (a) Vista superior da Ponte; (b) Falha de concretagem na VP2 à jusante; (c) Sinais de esmagamento no P2 à jusante; (d) Mancha de eflorescência na LB1 à montante; (e) Vista do inferior da Ponte.

### 5.8.1 Resultados Encontrados

A análise dos elementos da ponte se deu através do preenchimento in loco de tabelas conforme a Figura 5.25.

|                           |                        |      |       |
|---------------------------|------------------------|------|-------|
| Nome do Elemento:         | VP2 (Viga Principal 2) |      |       |
| Local:                    | Jusante                |      |       |
| Danos                     | Fp                     | Fi   | D     |
| Carbonatação              | 3,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Cobrimento deficiente     | 3,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Contaminação por cloretos | 4,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Corrosão de armaduras     | 5,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Desagregação              | 3,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Desplacamento             | 3,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Eflorescência             | 2,00                   | 3,00 | 16,00 |
| Falha de concretagem      | 2,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Fissuras                  | 4,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Flechas                   | 5,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Manchas                   | 3,00                   | 0,00 | 0,00  |
| Umidade na base           | 3,00                   | 0,00 | 0,00  |

Figura 5.25 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP2 (viga principal 2) à jusante, da Ponte sobre o Ribeirão Capivara – GO080.

A Tabela 5.22 apresenta os resultados obtidos da análise dos elementos da ponte supracitada.



Tabela 5.22 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Capivara.

| Elementos  | $\sum D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|------------|----------|----------|----------|
| P1         | 40,00    | 40,00    | 40,00    |
| VP1        | 16,00    | 16,00    | 17,60    |
| VP2        | 4,80     | 4,27     |          |
| VTA1;VTA2; | 1,60     | 1,60     | 6,26     |
| VTV1, VTV2 | 4,80     | 4,80     |          |
| VT1;VT2    | 1,60     | 1,60     |          |
| LB1;LB2;LC | 3,20     | 3,20     | 4,13     |
| GR1        | 20,80    | 19,69    | 21,53    |
| GR2        | 4,8      | 4,8      |          |
| Pista      | 48,00    | 46,67    | 46,67    |

Com os valores apresentados na Tabela 5.22, calculou-se o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) que está discriminado na Tabela 5.23.

Tabela 5.23 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Capivara.

| Família                | $G_{df}$ | Fr          | $G_{df} \times Fr$ |
|------------------------|----------|-------------|--------------------|
| Pilar                  | 40,00    | 5,00        | 200,00             |
| Vigas Principais       | 17,60    | 5,00        | 88,00              |
| Laje                   | 4,13     | 4,00        | 16,52              |
| Vigas Secundárias      | 6,26     | 4,00        | 25,04              |
| Pista                  | 46,67    | 2,00        | 93,34              |
| Barreiras/Guarda-rodas | 21,53    | 1,00        | 21,53              |
| Somatório =            |          | 21,00       | 444,43             |
|                        |          | <b>Gd =</b> | <b>21,16</b>       |

### 5.8.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Ribeirão Capivara (Sentido Nerópolis-Goiânia)

A Ponte analisada neste item se difere bastante da Ponte apresentada no item 5.7, apesar de serem paralelas. Mesmo não tendo acesso à documentação das pontes é sabido que a Ponte apresentada no item 5.7 é mais antiga que a Ponte apresentada no item 5.8.

A rodovia onde elas estão localizadas foi duplicada a poucos anos e aproveitou-se pista e a Obra de Arte no sentido Goiânia – Nerópolis, mantendo as já existentes, sem que houvesse intervenção alguma na Ponte, construindo-se apenas a ponte no sentido Nerópolis – Goiânia.

Portanto de acordo com o relatado acima a ponte analisada neste item (5.8) apresenta Grau de Deterioração (Gd) 21,16 apresentando o nível de deterioração classificado como MÉDIO em conformidade com a maioria da família de elementos.

A intervenção pode ser planejada em prazo médio, podendo este chegar até 2 anos sem que a estrutura sofra danos graves ou se deteriore drasticamente.

A tabela 5.24 apresenta os resultados encontrados na inspeção da ponte sobre o Ribeirão Capivara (sentido Nerópolis-Goiânia).

Tabela 5.24 – Síntese dos Resultados Encontrados na ponte sobre o Ribeirão Capivara (sentido Nerópolis-Goiânia)

| SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS |                      |       |       |                       |                                                                                                                                        |
|------------------------------------|----------------------|-------|-------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FAMÍLIA DE ELEMENTOS               | ELEMENTO DETERIORADO | Gde   | Gdf   | NÍVEL DE DETERIORAÇÃO | AÇÕES                                                                                                                                  |
| Pista                              | pista                | 46,67 | 46,67 | Médio                 | O elemento mais deteriorado é o Pilar P1 em termos de relevância estrutural, deve-se proceder intervenção localizada prioritariamente. |
| Pilar                              | P1                   | 40,00 | 40,00 | Médio                 |                                                                                                                                        |
| Viga Principal                     | VP1                  | 16,00 | 17,60 | Médio                 |                                                                                                                                        |
|                                    | VP2                  | 4,27  |       |                       |                                                                                                                                        |
| Viga Secundária                    | VTa1, VTa2           | 1,60  | 6,26  | Baixo                 |                                                                                                                                        |
|                                    | VTv1, VTv2           | 4,80  |       |                       |                                                                                                                                        |
|                                    | VT1, VT2             | 1,60  |       |                       |                                                                                                                                        |
| Laje                               | LB1                  | 3,20  | 4,13  | Baixo                 |                                                                                                                                        |
|                                    | LB2                  | 3,20  |       |                       |                                                                                                                                        |
|                                    | LC                   | 3,20  |       |                       |                                                                                                                                        |
| Barreira                           | GR1                  | 19,69 | 21,53 | Médio                 |                                                                                                                                        |
|                                    | GR2                  | 4,80  |       |                       |                                                                                                                                        |
| ESTRUTURA                          | Gd = 21,16           |       |       | Médio                 | Após intervenção no Pilar P1 e pista, deve-se fazer manutenção preventiva.                                                             |

## 5.9 ESTUDO DA PONTE SOBRE RIBEIRÃO CACHOEIRA

A Figura 5.26 apresenta ficha descritiva da estrutura com dados gerais do estudo de caso na Ponte sobre o Ribeirão Cachoeira, inspeção realizada no dia 02/03/2011.

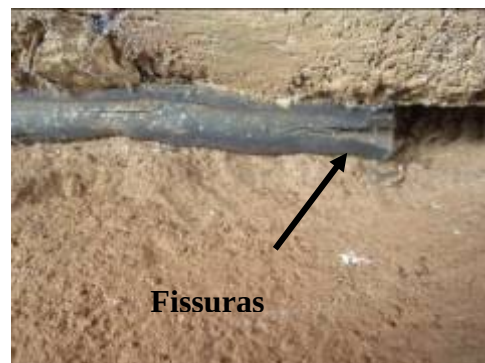
| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>                                            |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Nome: Ponte sobre o Ribeirão Cachoeira.                                          |                         |
| Localização: Ribeirão Cachoeira, GO 222 dentro de Nova Veneza indo para Inhumas. |                         |
| Data da Inspeção: 02/03/2011.                                                    | Extensão: 47 metros.    |
| Idade:                                                                           | Número de vãos: 1 (um). |
| Sistema Construtivo: Convencional.                                               |                         |
| Largura: 8,20 m de pista.                                                        |                         |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003): I (rural) - Fraca.           |                         |
| Observações: _____<br>_____.                                                     |                         |
| RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                                                  |                         |
| Nome (s): Priscilla Euqueres.                                                    |                         |
| Profissão: Engenheira Civil.                                                     |                         |
| Cargo/Função: Mestranda em Engenharia Civil.                                     |                         |
| Empresa/órgão: UFG.                                                              |                         |
| Projetos consultados: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                                 |                         |
| Empresa Construtora e Projetista: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                     |                         |

Figura 5.26 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Ribeirão Cachoeira.

Algumas fotos ilustrativas do local são apresentadas pela Figura 5.27.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 5.27 – Fotos da Ponte sobre o Ribeirão Cachoeira localizada na GO 222 sentido Nova Veneza para Inhumas. (a) Vista superior da Ponte; (b) Fissuras em AA; (c) Deslocamento de concreto na base do P2 à montante; (d) Mancha de corrosão na eflorescência na LB2 à montante; (e) Vista do inferior da Ponte.

### 5.9.1 Resultados Encontrados

A análise dos elementos da ponte se deu através do preenchimento in loco de tabelas conforme a Figura 5.28.

|                           |                         |      |       |
|---------------------------|-------------------------|------|-------|
| Nome do Elemento:         | LB2 (Laje em balanço 2) |      |       |
| Local:                    | Jusante                 |      |       |
| Danos                     | Fp                      | Fi   | D     |
| Carbonatação              | 3,00                    | 0,00 | 0,00  |
| Cobrimento deficiente     | 3,00                    | 0,00 | 0,00  |
| Contaminação por cloretos | 4,00                    | 0,00 | 0,00  |
| Corrosão de armaduras     | 5,00                    | 3,00 | 40,00 |
| Desagregação              | 3,00                    | 0,00 | 0,00  |
| Desplacamento             | 3,00                    | 0,00 | 0,00  |
| Eflorescência             | 2,00                    | 3,00 | 16,00 |
| Falha de concretagem      | 2,00                    | 0,00 | 0,00  |
| Fissuras                  | 4,00                    | 0,00 | 0,00  |
| Flechas                   | 5,00                    | 0,00 | 0,00  |
| Manchas                   | 3,00                    | 0,00 | 0,00  |
| Umidade na base           | 3,00                    | 0,00 | 0,00  |

Figura 5.28 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento LB2 (laje em balanço 2) à jusante, da Ponte sobre o Ribeirão Cachoeira – GO222.

A tabela 5.25 apresenta os resultados obtidos da análise dos elementos da ponte supracitada.

Tabela 5.25 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Cachoeira.

| Elementos              | $\sum D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|------------------------|----------|----------|----------|
| P2                     | 25,60    | 25,60    | 25,60    |
| VP1; VP2               | 1,60     | 1,60     | 1,96     |
| VTA1; VTA2;            | 1,60     | 1,60     | 2,20     |
| VTV1, VTV2; VTV3, VTV4 | 1,60     | 1,60     |          |
| VT1; VT2               | 1,60     | 1,60     |          |
| LB1; LB2               | 56,00    | 51,43    | 64,39    |
| LC                     | 16,00    | 16,00    |          |
| GR1; GR2               | 24,00    | 24,00    | 36,00    |
| Pista                  | 8,00     | 8,00     | 8,00     |
| AA                     | 8,00     | 8,00     | 8,00     |

Com os valores apresentados na Tabela 5.25, calculou-se o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) que está discriminado na Tabela 5.26.

Tabela 5.26 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Cachoeira.

| Família                | $G_{df}$ | Fr    | $G_{df} \times Fr$ |
|------------------------|----------|-------|--------------------|
| Pilar                  | 25,60    | 5,00  | 128,00             |
| Vigas Principais       | 1,96     | 5,00  | 9,80               |
| Laje                   | 64,39    | 4,00  | 257,56             |
| Vigas Secundárias      | 2,20     | 4,00  | 8,80               |
| Pista                  | 8,00     | 2,00  | 16,00              |
| Barreiras/Guarda-rodas | 36,00    | 1,00  | 36,00              |
| AA                     | 8,00     | 4,00  | 32,00              |
| Somatório =            |          | 25,00 | 488,12             |
| <b>Gd =</b>            |          |       | <b>19,52</b>       |

### 5.9.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Ribeirão Cachoeira

Conforme os resultados apresentados no item 5.9.1 observou-se que a família de lajes é a que mais apresenta problemas quanto à deterioração, sendo classificada com nível de deterioração ALTO, seguido pela família de Guarda-rodas e pilares quais estão classificados com nível MÉDIO de deterioração.

Assim a ponte apresenta nível de deterioração global classificado como MÉDIO, já que os resultados individuais das famílias como comentado anteriormente são em sua maioria classificados como nível BAIXO.

Deste modo se torna mais necessária intervenção localizada nas lajes primeiramente e só depois no restante dos elementos, já que após a intervenção das laje o nível de deterioração da estrutura como um todo tende a cair podendo chegar a nível BAIXO de deterioração.

A tabela 5.27 apresenta a síntese dos resultados da avaliação na ponte sobre o Ribeirão Cachoeira.

Tabela 5.27 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Ribeirão Cachoeira

| SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS |                        |       |       |                       |                                                                                                |
|------------------------------------|------------------------|-------|-------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FAMÍLIA DE ELEMENTOS               | ELEMENTO DETERIORADO   | Gde   | Gdf   | NÍVEL DE DETERIORAÇÃO | AÇÕES                                                                                          |
| Pista                              | pista                  | 8,00  | 8,00  | Baixo                 | Limitar tráfego na região para intervenção nas lajes.                                          |
| Pilar                              | P2                     | 25,60 | 25,60 | Médio                 |                                                                                                |
| Viga Principal                     | VP1                    | 1,60  | 1,96  | Baixo                 |                                                                                                |
|                                    | VP2                    | 1,60  |       |                       |                                                                                                |
| Viga Secundária                    | VTA1, VTA2             | 1,60  | 2,20  | Baixo                 |                                                                                                |
|                                    | VTV1, VTV2, VTV3, VTV4 | 1,60  |       |                       |                                                                                                |
|                                    | VT1, VT2               | 1,60  |       |                       |                                                                                                |
| Laje                               | LB1                    | 51,43 | 64,39 | Alto                  |                                                                                                |
|                                    | LB2                    | 51,43 |       |                       |                                                                                                |
|                                    | LC                     | 16,00 |       |                       |                                                                                                |
| Barreira                           | GR1, GR2               | 24,00 | 36,00 | Médio                 |                                                                                                |
| Aparelho de Apoio                  | A.A.                   | 8,00  | 8,00  | Baixo                 |                                                                                                |
| ESTRUTURA                          | Gd = 19,52             |       |       | Médio                 | Com intervenção nas lajes pode-se fazer intervenção no Pilar P2 e fazer manutenção preventiva. |

## 5.10 ESTUDO DA PONTE SOBRE RIBEIRÃO CAPOEIRÃO

A Figura 5.29 apresenta ficha descritiva da estrutura com dados gerais do estudo de caso na Ponte sobre o Ribeirão Capoeirão, inspeção realizada no dia 02/03/2011.

|                                                                                   |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>                                             |                         |
| Nome: Ponte sobre o Ribeirão Capoeirão.                                           |                         |
| Localização: Ribeirão Capoeirão, GO 222 dentro de Deuslândia (indo para Inhumas). |                         |
| Data da Inspeção: 02/03/2011.                                                     | Extensão: 20 metros.    |
| Idade:                                                                            | Número de vãos: 1 (um). |
| Sistema Construtivo: Convencional.                                                |                         |
| Largura: 8,20 m de pista.                                                         |                         |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003): I (rural) - Fraca.            |                         |
| Observações: _____<br>_____.                                                      |                         |
| RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                                                   |                         |
| Nome (s): Priscilla Euqueres.                                                     |                         |
| Profissão: Engenheira Civil.                                                      |                         |
| Cargo/Função: Mestranda em Engenharia Civil.                                      |                         |
| Empresa/órgão: UFG.                                                               |                         |
| Projetos consultados: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                                  |                         |
| Empresa Construtora e Projetista: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                      |                         |

Figura 5.29 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Ribeirão Capoeirão.



Algumas fotos ilustrativas do local são apresentadas pela Figura 5.30.

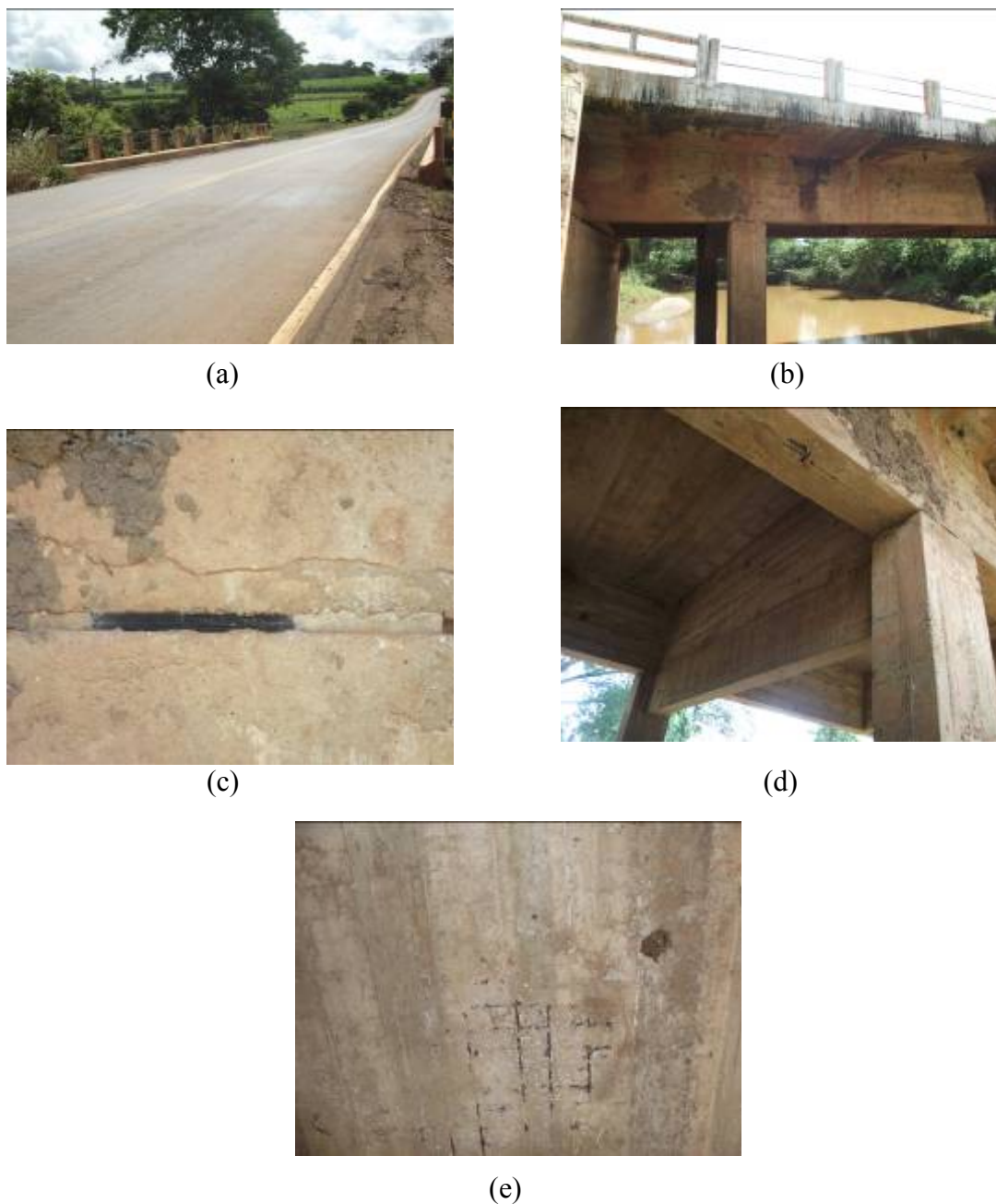


Figura 5.30 – Fotos da Ponte sobre o Ribeirão Capoeirão localizada na GO 222 sentido Deuslândia para Inhumas. (a) Vista superior da Ponte; (b) Vista Lateral da Ponte (montante); (c) Fissuras em AA (d) Desplacamento em Viga Principal; (e) Armadura exposta em Laje Central.

### 5.10.1 Resultados Encontrados

A análise dos elementos da ponte se deu através do preenchimento in loco de tabelas conforme a Figura 5.31.

|                           |                       |      |       |
|---------------------------|-----------------------|------|-------|
| Nome do Elemento:         | VP1 (Viga Principal1) |      |       |
| Local:                    | Montante              |      |       |
| Danos                     | Fp                    | Fi   | D     |
| Carbonatação              | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Cobrimento deficiente     | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Contaminação por cloretos | 4,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Corrosão de armaduras     | 5,00                  | 3,00 | 40,00 |
| Desagregação              | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Desplacamento             | 3,00                  | 2,00 | 4,80  |
| Eflorescência             | 2,00                  | 2,00 | 3,20  |
| Falha de concretagem      | 2,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Fissuras                  | 4,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Flechas                   | 5,00                  | 0,00 | 0,00  |
| Manchas                   | 3,00                  | 3,00 | 24,00 |
| Umidade na base           | 3,00                  | 0,00 | 0,00  |

Figura 5.31 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento VP1 (viga principal 1) à montante, da Ponte sobre o Ribeirão Capoeirão – GO 222.

A tabela 5.28 apresenta os resultados obtidos da análise feita nos elementos da ponte sobre o Ribeirão Capoeirão.

Tabela 5.28 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Capoeirão.

| Elementos                    | $\Sigma D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|------------------------------|------------|----------|----------|
| P2                           | 29,60      | 28,54    | 32,05    |
| P1;P3:P4                     | 4,00       | 3,36     |          |
| VP1                          | 72,00      | 57,78    | 59,28    |
| VP2                          | 3,20       | 3,20     |          |
| VTA1;VTA2                    | 3,20       | 3,20     | 4,33     |
| VTV1, VTV2                   | 3,20       | 3,20     |          |
| VT1;VT2                      | 3,20       | 3,20     |          |
| LB1                          | 41,60      | 34,15    | 36,19    |
| LC                           | 4,80       | 4,80     |          |
| GR1; GR2                     | 66,00      | 65,45    | 80,16    |
| Blocos de Fund. (1,2, 3 e 4) | 16,00      | 16,00    | 21,17    |
| AA                           | 100,00     | 100,00   | 100,00   |

Com os valores apresentados na Tabela 5.28, calculou-se o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) que está discriminado na Tabela 5.29.

Tabela 5.29 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Ribeirão Capoeirão.

| Família                | $G_{df}$ | Fr    | $G_{df} \times Fr$ |
|------------------------|----------|-------|--------------------|
| Pilar                  | 32,05    | 5,00  | 160,25             |
| Vigas Principais       | 59,28    | 5,00  | 296,40             |
| Laje                   | 36,19    | 4,00  | 144,76             |
| Vigas Secundárias      | 4,33     | 4,00  | 17,32              |
| Fundação               | 21,17    | 4,00  | 84,68              |
| Barreiras/Guarda-rodas | 80,16    | 1,00  | 80,16              |
| AA                     | 100,00   | 4,00  | 400,00             |
| Somatório =            |          | 27,00 | 1183,57            |
| <b>Gd =</b>            |          |       | <b>43,84</b>       |

### 5.10.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Ribeirão Capoeirão

Conforme os resultados apresentados no item 5.10.1 através de análise feita por meio da metodologia apresentada no Capítulo 4 pode-se observar que a família dos aparelhos de apoio é a que mais apresenta problemas quanto à deterioração, sendo classificada com nível de deterioração SOFRÍVEL, seguido pela família de Guarda-rodas, aqui classificadas com nível ALTO de deterioração e vigas principais a qual está classificadas com nível ALTO de deterioração.

Assim a ponte apresenta nível de deterioração global classificado como MÉDIO, pois apesar da família de Guarda-Rodas ser classificada como ALTO, não foi ela o determinante para que o resultado global tenha sido classificado como ALTO, mas sim a família de Vigas Principais seguida pela família de Aparelhos de apoio, pois estas famílias são as que apresentam maiores fatores de ponderação.

A tabela 5.30 apresenta a síntese dos resultados encontrados na inspeção da ponte sobre o Ribeirão Capoeirão.

Tabela 5.30 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre o Ribeirão Capoeirão.

| SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS |                        |        |        |                       |                                                                                                                                     |
|------------------------------------|------------------------|--------|--------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FAMÍLIA DE ELEMENTOS               | ELEMENTO DETERIORADO   | Gde    | Gdf    | NÍVEL DE DETERIORAÇÃO | AÇÕES                                                                                                                               |
| Pilar                              | P2                     | 28,54  | 32,05  | Médio                 | Trocar imediatamente os aparelhos de apoio e restaurar viga principal VP1.                                                          |
|                                    | P1, P3, P4             | 3,36   |        |                       |                                                                                                                                     |
| Viga Principal                     | VP1                    | 57,78  | 59,28  | Alto                  |                                                                                                                                     |
|                                    | VP2                    | 3,20   |        |                       |                                                                                                                                     |
| Viga Secundária                    | VTA1, VTA2             | 3,20   | 4,33   | Baixo                 |                                                                                                                                     |
|                                    | VTV1, VTV2             | 3,20   |        |                       |                                                                                                                                     |
|                                    | VT1, VT2               | 3,20   |        |                       |                                                                                                                                     |
| Laje                               | LB1                    | 34,15  | 36,19  | Médio                 |                                                                                                                                     |
|                                    | LB2                    | 0,00   |        |                       |                                                                                                                                     |
|                                    | LC                     | 4,80   |        |                       |                                                                                                                                     |
| Barreira                           | GR1, GR2               | 65,45  | 80,16  | Alto                  |                                                                                                                                     |
| Fundação                           | Bl.1, Bl.2, Bl.3, Bl.4 | 16,00  | 16,00  | Médio                 |                                                                                                                                     |
| Aparelho de Apoio                  | A.A.                   | 100,00 | 100,00 | Sofrível              |                                                                                                                                     |
| ESTRUTURA                          | Gd = 43,84             |        |        | Médio                 | Com a troca imediata dos A.A. e intervenção na VP1, pode-se intervir nos outros elementos em no máx. 2 anos para intervenção total. |

### 5.11 ESTUDO DA PONTE SOBRE RIO MEIA PONTE (GO 222)

A Figura 5.32 apresenta ficha descritiva da estrutura com dados gerais do estudo de caso na Ponte sobre o Rio Meia Ponte – GO 222, inspeção realizada no dia 02/03/2011.

| <u>FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.</u>               |                                                     |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Nome:                                               | Ponte sobre o Rio Meia Ponte.                       |
| Localização:                                        | Rio Meia Ponte, GO 222 próximo ao trevo de Inhumas. |
| Data da Inspeção:                                   | 02/03/2011.      Extensão: 22 metros.               |
| Idade:                                              | Número de vãos: 1 (um).                             |
| Sistema Construtivo:                                | Convencional.                                       |
| Largura:                                            | 8,20 m de pista.                                    |
| Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003): | I (rural) - Fraca.                                  |
| Observações:                                        | _____                                               |
| _____                                               |                                                     |
| RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:                     |                                                     |
| Nome (s):                                           | Priscilla Euqueres.                                 |
| Profissão:                                          | Engenheira Civil.                                   |
| Cargo/Função:                                       | Mestranda em Engenharia Civil.                      |
| Empresa/órgão:                                      | UFG.                                                |
| Projetos consultados:                               | SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                          |
| Empresa Construtora e Projetista:                   | SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.                          |

Figura 5.32 – Ficha Descritiva da Estrutura, Ponte sobre Rio Meia Ponte.

Algumas fotos ilustrativas do local são apresentadas pela Figura 5.33.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.33 – Fotos da Ponte sobre o Rio Meia Ponte localizada na GO 222 município de Inhumas. (a) Vista superior da Ponte; (b) Vista Lateral da Ponte (montante); (c) Deslocamento no Pilar P1; (d) Vista inferior da ponte.

### 5.11.1 Resultados Encontrados

A análise dos elementos da ponte se deu através do preenchimento in loco de tabelas conforme a Figura 5.34.

|                           |             |      |       |
|---------------------------|-------------|------|-------|
| Nome do Elemento:         | P1 (Pilar1) |      |       |
| Local:                    | Montante    |      |       |
| Danos                     | Fp          | Fi   | D     |
| Carbonatação              | 3,00        | 0,00 | 0,00  |
| Cobrimento deficiente     | 3,00        | 0,00 | 0,00  |
| Contaminação por cloretos | 4,00        | 0,00 | 0,00  |
| Corrosão de armaduras     | 5,00        | 3,00 | 40,00 |
| Desagregação              | 3,00        | 0,00 | 0,00  |
| Desplacamento             | 3,00        | 3,00 | 24,00 |
| Eflorescência             | 2,00        | 0,00 | 0,00  |
| Falha de concretagem      | 2,00        | 0,00 | 0,00  |
| Fissuras                  | 4,00        | 0,00 | 0,00  |
| Flechas                   | 5,00        | 0,00 | 0,00  |
| Manchas                   | 3,00        | 0,00 | 0,00  |
| Umidade na base           | 3,00        | 0,00 | 0,00  |

Figura 5.34 – Exemplo da Planilha de Inspeção do elemento P1 (pilar 1) à montante, da Ponte sobre o Rio Meia Ponte – GO222.

A tabela 5.31 apresenta os resultados obtidos da análise dos elementos da ponte sobre o Rio Meia Ponte na GO 222.

Tabela 5.31 – Resultados obtidos para o somatório do Grau de dano (D), Grau de deterioração do Elemento ( $G_{de}$ ) e Grau de Deterioração da Família de Elementos ( $G_{df}$ ), para a ponte sobre o Rio Meia Ponte

| Elementos              | $\sum D$ | $G_{de}$ | $G_{df}$ |
|------------------------|----------|----------|----------|
| P1                     | 40,00    | 33,60    | 64,85    |
| P3                     | 64,00    | 55,00    |          |
| P4                     | 1,60     | 1,60     |          |
| VP1;VP2                | 1,60     | 1,60     | 1,96     |
| VTA1;VTA2;VTV1;VT1;VT2 | 1,60     | 1,60     | 2,15     |
| LB1;LB2;LC             | 3,20     | 3,20     | 4,13     |
| GR1; GR2               | 24,00    | 24,00    | 29,39    |
| Cortina                | 40,00    | 40,00    | 40,00    |

Com os valores apresentados na Tabela 5.31, calculou-se o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ) que está discriminado na Tabela 5.32.

Tabela 5.32 – Resultados obtidos para o Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ), para a ponte sobre o Rio Meia Ponte

| Família                | $G_{df}$ | Fr          | $G_{df} \times Fr$ |
|------------------------|----------|-------------|--------------------|
| Pilar                  | 64,85    | 5,00        | 324,25             |
| Vigas Principais       | 1,96     | 5,00        | 9,8                |
| Laje                   | 4,13     | 4,00        | 16,52              |
| Vigas Secundárias      | 2,15     | 4,00        | 8,60               |
| Cortina                | 40,00    | 3,00        | 120,00             |
| Barreiras/Guarda-rodas | 29,39    | 1,00        | 29,39              |
| Somatório =            |          | 22,00       | 508,56             |
|                        |          | <b>Gd =</b> | <b>23,11</b>       |

### 5.11.2 Considerações finais sobre o estado de conservação da ponte sobre o Rio Meia Ponte (GO 222)

Apesar de ser uma ponte sobre um Rio (Rio Meia Ponte), onde já tenha sido analisada outra ponte apresentada no item 5.6, são estruturas completamente diferentes. A ponte apresentada no item 5.6 se difere primeiramente pela extensão da ponte apresentada neste item a primeira com 150m apresentou dificuldades para análise



justamente pelo fato de ser muito extensa e não se obter uma visão mais ampla de vãos no meio do rio, já a segunda com 22m foi mais fácil de se analisar, pois com apenas um vão, quando se fica em uma das extremidades, pode-se observar o vão como um todo.

A família de pilar foi a que apresentou maior grau de deterioração com nível classificado como ALTO, porém a estrutura foi classificada com nível de deterioração MÉDIO, este fato se dá, pois as outras famílias de elementos apesar de terem o fator de ponderação relevante tiveram grau de deterioração baixo, fazendo com que a estrutura global seja classificada com nível de deterioração MÉDIO.

Comparando-se as duas pontes no mesmo Rio, porém em localização bem diferente (VER MAPA EM ANEXO), as duas pontes obtiveram mesma classificação quanto ao nível de deterioração, porém a ponte apresentada no item 5.6 obteve grau de deterioração menor que a apresentada no item 5.11, vale então ressaltar que na ponte com menor extensão foi possível análise mais minuciosa, apresentando assim um valor que traduz mais a realidade, do que a apresentada no item 5.6, sendo então necessário ressaltar a que para pontes com extensões maiores que 70m a necessidade de inspeção com utilização não só dos materiais já adotados em todas as inspeções, mas também com ajuda de equipamentos náuticos pra que se avalie também os vãos medianos e todos os elementos ali presentes.

A tabela 5.33 apresenta a síntese dos resultados encontrados para a avaliação na ponte sobre o Rio Meia Ponte (GO 222).

Tabela 5.33 – Síntese dos Resultados Encontrados na Ponte sobre Rio Meia Ponte (GO 222).

| SÍNTESE DO RESULTADO ENCONTRADO |                      |       |       |                       |                                                                                 |
|---------------------------------|----------------------|-------|-------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| FAMÍLIA DE ELEMENTOS            | ELEMENTO DETERIORADO | Gde   | Gdf   | NÍVEL DE DETERIORAÇÃO | AÇÕES                                                                           |
| Pilar                           | P1                   | 33,60 | 64,85 | Alto                  | Pilar P1 e P3 necessitam de intervenção mais urgente.                           |
|                                 | P3                   | 55,00 |       |                       |                                                                                 |
|                                 | P4                   | 1,60  |       |                       |                                                                                 |
| Viga Principal                  | VP1                  | 1,60  | 1,96  | Baixo                 |                                                                                 |
|                                 | VP2                  | 1,60  |       |                       |                                                                                 |
| Viga Secundária                 | VTA1, VTA2           | 1,60  | 2,15  | Baixo                 |                                                                                 |
|                                 | VTV1                 | 1,60  |       |                       |                                                                                 |
|                                 | VT1, VT2             | 1,60  |       |                       |                                                                                 |
| Laje                            | LB1                  | 3,20  | 4,13  | Baixo                 |                                                                                 |
|                                 | LB2                  | 3,20  |       |                       |                                                                                 |
|                                 | LC                   | 3,20  |       |                       |                                                                                 |
| Cortina                         | Cort.1               | 40,00 | 40,00 | Médio                 |                                                                                 |
| Barreira                        | GR1, GR2             | 24,00 | 29,39 | Médio                 |                                                                                 |
| ESTRUTURA                       | Gd = 23,11           |       |       | Médio                 | Com intervenção nos Pilares, deve-se intervir na Cortina 1 em no máximo 2 anos. |

## 6. CONCLUSÕES

O processo de aparecimento de sérios problemas de desempenho estrutural relacionados à deterioração do concreto armado nas obras de infraestrutura foi acelerado por algumas práticas construtivas que não enfatizavam a qualidade, especificações insuficientes sobre durabilidade e a falta de manutenção periódica.

Desta forma, as obras de pontes devem ser cuidadosamente inspecionadas, a fim de que se avalie o real estado de conservação, para que se possa desenvolver o melhor plano de manutenção e de reabilitação, se for necessário.

Este trabalho teve como objetivo principal desenvolver e aplicar uma metodologia para inspeção especial das Estruturas de Pontes de Concreto Armado através da análise quantitativa do grau de deterioração das estruturas para que esta possa servir de embasamento para tomada de decisões relacionadas à reabilitação dessas estruturas. Adotou-se como base metodologias já existentes, as quais eram aplicadas a estruturas convencionais de concreto armado.

Com o estudo das metodologias existentes, os itens das metodologias estudadas foram adaptados para inspeção de pontes e fez-se um estudo piloto onde se verificou a necessidade de outras mudanças, sendo elas a inclusão de todos os elementos analisados no cálculo tanto para o grau de deterioração da família de elementos, quanto para o grau de deterioração da estrutura geral e não apenas os valores encontrados superiores ou iguais a 15, conforme apresentado no item 4.6.2 do Capítulo 4.

Depois das mudanças apresentadas no estudo piloto, foram feitas mais 11 (onze) inspeções em pontes escolhidas aleatoriamente pelo Estado de Goiás as quais estão apresentadas no Capítulo 5.

Para se realizar as análises das diversas pontes avaliadas a maior dificuldade foi o acesso à parte inferior das pontes. Em termos de resultados, as pontes que tiveram a análise prejudicada foram as com extensão de 150 m, onde a maior dificuldade foi a visualização de todos os elementos, principalmente no vão mediano, o que prejudica a análise.

Comparando os valores de Gd obtido com o real estado das pontes analisadas conclui-se que a metodologia proposta é eficiente para aplicação por meio de uma análise visual em campo. Sendo um método que norteia e dá embasamento para as decisões a serem tomadas para as intervenções a serem realizadas.

Para pontes maiores que 70m de extensão, nota-se uma limitação do uso da metodologia proposta neste trabalho, pois mesmo que se tenha acesso às duas margens do rio a visão se torna comprometida devido a pouca visibilidade dos elementos medianos da ponte analisada. Porém a metodologia desenvolvida neste trabalho continua sendo um bom método para análise isolada dos elementos e das famílias dos elementos onde seja possível total visibilidade, podendo assim, o responsável pela intervenção saber qual o item que necessita primeiramente de intervenção. Uma possibilidade para diminuir a limitação desta metodologia é a utilização de equipamentos tais como barcos, balancim, andaimes suspensos, rapel, caminhões com cestas móveis ou “girafas”, os quais aumentam o campo de visão do vistoriador, já que permite uma maior aproximação deste com a estrutura analisada.

Esta metodologia serve como banco de dados físicos e estatísticos para comprovação da tomada de decisão para intervenções e abertura de licitações para obras, tanto públicas, privadas ou concessionadas.

Vale ressaltar que este é apenas um primeiro estudo e que outros estudos devem ser realizados a fim de que se balizem os resultados e se melhore a metodologia, principalmente em pontes muito extensas.

## 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como ressaltado este estudo é apenas inicial sendo necessário realizar demais estudos. A fim de melhorar a metodologia aqui desenvolvida e/ou adequá-las, sugere-se:

- Um trabalho específico para listagem de todas as pontes existentes no Estado de Goiás, formando assim um banco de dados digital com todas as informações, que pode se utilizar a ficha de identificação para formação da base de dados.
- Desenvolver e/ou adequar metodologia para inspeções em pontes com extensões maiores que 70m.
- Realizar estudos em pontes que não sejam feitas apenas em concreto armado.
- Adaptar a metodologia proposta especificamente para casos de viadutos.

- Realizar uma estimativa das manifestações patológicas existentes em obras de arte, no Brasil usando a metodologia proposta.
- Prever a instalação de sensores de pH, potencial de corrosão e deformação, pelo menos em projetos de pontes novas, a fim de facilitar a obtenção de dados sobre o estado de conservação das estruturas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIAZZI, J.P. **Patologia das Construções: Metodologia para diagnóstico e Estudo de Caso em Marquises**. Santa Maria, 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 9452: Vistorias de pontes e viadutos de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. **NBR 14037: Manual de operação, uso e manutenção das edificações – conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação**. Rio de Janeiro, 1998.

ANDRADE, T.; COSTA E SILVA, A. J. **Considerações sobre Durabilidade, Patologia e Manutenção das Estruturas**. 2009. Disponível em: <<http://www.tecomat.com.br/2009/informe/Ex%2001%20-%20Texto%20basico.pdf>> Acesso em: 16 março.2010.

ANDRADE, T.; COSTA E SILVA, A. J. **Patologia das Estruturas – Cap 32. CRONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**. Editor G.C. Isaia – São Paulo: IBRACON, 2005.

BOLDO, P., **Análise Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado de Edificações no Âmbito do Exército Brasileiro**, Dissertação de Mestrado, Publicação E.DM-001A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 295 p.

CARNEIRO, A. **Inspeção nas pontes da cidade do Recife. Relatório Técnico – Prefeitura da cidade do Recife**. Recife-Pe, 2004. 228p.

CASTRO, E. K., **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994.185p.

CEB – COMMITTEE EURO-INTERNATIONAL Du BETON. **CEB-FIP Model Code 90 (MC-90) – Final Draft**. Bulletin d’information N°203, Julho 1991.

DNIT 010/2004 – PRO, NORMA. **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

DNIT. **Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. 253p.

FIGUERIREDO, E. J. P., **Metodologia de avaliação de sistemas epóxi destinados à injeção de fissuras passivas das estruturas de concreto**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1989. 119p.

FIP – FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DE PROTENSÃO. **Guide to good practice: Inspection and Maintenance of reinforced concrete structure**, Thomas Telford Publications, Londres, 1998, 7p.

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, Publicação E.DM – 006 A/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. 213p.

HELENE, Paulo R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1992.

KLEIN, D., GASTAL, F., CAMPANOLO, J.L. & SILVA FILHO, L. C., **Critérios adotados na vistoria de obras de arte**, XXV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, pp. 185-196, Novembro, 1991.

LOPES, B.A.R. **Sistema de manutenção estrutural para grandes estoques de edificações: Estudo para a inclusão do componente Estrutura de Concreto** Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998. 308p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

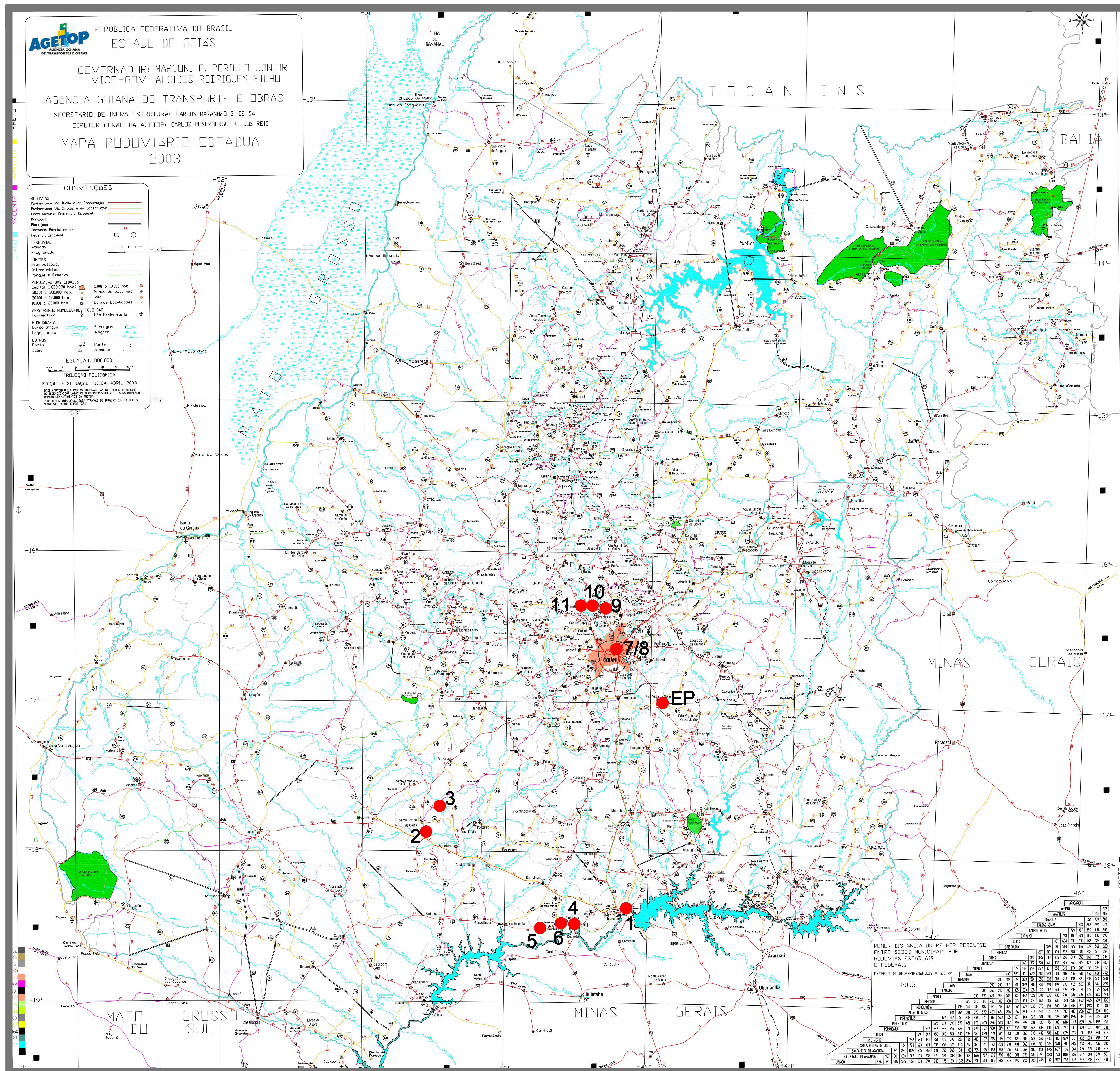
OLIVEIRA, M. Q. et al. Verificação do Grau de Deterioração em Pontes de Concreto: Estudo de Caso de uma ponte sobre o Rio Piauí. **Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2009**, Curitiba, 2009.

SOUZA, V. C. M., RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 1998.

TEIXEIRA, P. W. G. N.; GONÇALVES, F. D. R. **Avaliação geral do estado de conservação de pontes existentes nas rodovias piauienses**. In: Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 5, 2003, São Paulo. Anais. São Paulo: 2003.

**ANEXO A – MAPA DE GOIÁS COM AS INDICAÇÕES DAS PONTES  
VISTORIADAS.**





**● Pontes inspecionadas**

|     |                               |
|-----|-------------------------------|
| EP  | GO-219 - Rio Piracanjuba      |
| 1   | GO-309 - Ribeirão Santa Maria |
| 2   | GO-164 - Rio São Tomás        |
| 3   | GO-325 - Rio Verdão           |
| 4   | GO-206 - Ribeirão Cantagalo   |
| 5   | GO-206 - Rio Campanha         |
| 6   | GO-206 - Rio Meia Ponte       |
| 7/8 | GO-080 - Ribeirão Capivara    |
| 9   | GO-222 - Ribeirão Cachoeira   |
| 10  | GO-222 - Ribeirão Capoeirão   |
| 11  | GO-222 - Rio Meia Ponte       |



**ANEXO B – ROTEIRO DE INSPEÇÃO PARA PONTES DE CONCRETO  
ARMADO.**

# **ROTEIRO DE INSPEÇÃO PARA ESTRUTURAS DE PONTES DE CONCRETO ARMADO.**

(Euqueres, 2011, modificado)

FICHA DESCRITIVA DA ESTRUTURA.

Nome: \_\_\_\_\_

Localização: \_\_\_\_\_

Data da Inspeção: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_. Extensão: \_\_\_\_\_.

Idade: \_\_\_\_\_ Número de vãos: \_\_\_\_\_.

Sistema Construtivo: \_\_\_\_\_.

Largura: \_\_\_\_\_.

Classe de agressividade ambiental (NBR-6118: 2003): \_\_\_\_\_.

Observações: \_\_\_\_\_

## RESPONSÁVEL (IS) PELA INSPEÇÃO:

Nome (s): \_\_\_\_\_

Profissão: \_\_\_\_\_

Cargo/Função: \_\_\_\_\_

Empresa/órgão: \_\_\_\_\_

Projetos consultados: \_\_\_\_\_

Empresa Construtora e Projetista: \_\_\_\_\_

## **1. INTRODUÇÃO**

O presente *Roteiro de Inspeção* será parte integrante de uma metodologia destinada à avaliação quantitativa do grau de deterioração de pontes em concreto armado. Essa metodologia será desenvolvida e testada em diversas estruturas de pontes de concreto armado a fim de se comprovar a eficiência do mesmo.

O trabalho tem como base principal a versão modificada proposta por Fonseca (2007) para o Roteiro de Inspeção para estruturas de concreto.

A avaliação é feita mediante um programa de inspeções periódicas, com o uso deste roteiro, e tem por objetivo contribuir para a definição das ações necessárias à garantia da durabilidade da edificação, nos aspectos de segurança, funcionalidade e estética, auxiliando a tomada de decisões de engenheiros e técnicos da área de manutenção e recuperação de estruturas.

Neste caderno, são consideradas as disposições do texto contido na Norma: Projeto de estruturas de concreto (NBR-6118/2003), referentes à durabilidade de estruturas de concreto.

## **2 - PARÂMETROS DE INSPEÇÃO**

### **2.1- Considerações Preliminares**

#### **2.1.1 - Agressividade do ambiente**

A norma NBR 6118/2003 dispõe sobre os requisitos para a durabilidade, considerando a agressividade do meio ambiente, relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

A Tabela 1, a seguir, apresenta a classificação da agressividade do ambiente, a ser considerada nos projetos de estruturas correntes pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes de acordo com a tabela abaixo:

**Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental**  
(Tabela 6.1 da NBR-6118/2003)

| Classe de agressividade ambiental | Agressividade | Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|-----------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| I                                 | Fraca         | Rural                                                          | Insignificante                     |
|                                   |               | Submersa                                                       |                                    |
| II                                | Moderada      | Urbana <sup>1),2)</sup>                                        | Pequeno                            |
| III                               | Forte         | Marinha <sup>1)</sup>                                          | Grande                             |
|                                   |               | Industrial <sup>1),2)</sup>                                    |                                    |
| IV                                | Muito forte   | Industrial <sup>1),3)</sup>                                    | Elevado                            |
|                                   |               | Respingos de maré                                              |                                    |

1) Pode-se admitir um micro clima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

### 2.1.2 - Identificação dos elementos estruturais

A aplicação da metodologia exige representações gráficas da estrutura (plantas de forma, croquis, etc.), que permitam localizar e identificar, da forma mais clara possível, os elementos vistoriados, quanto à sua natureza, pavimento, tipo de ambiente, etc. É, também, de grande valia uma documentação fotográfica da inspeção, que pode auxiliar o processo de avaliação de danos, diagnóstico e laudos técnicos.

### 2.2 - Tipos de danos em estruturas

Apresenta-se, a seguir, uma conceituação sucinta dos danos mais freqüentes em estruturas de concreto, em ordem alfabética, visando padronizar a terminologia e, permitir, posteriormente, a quantificação dos danos, conforme formulação apresentada no Anexo 1. Cabe ressaltar a importância de se recorrer à bibliografia complementar.

**a) Carbonatação:**

Fenômeno decorrente da penetração do dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , presente na atmosfera, através das redes de poros do concreto, e de sua reação com os constituintes alcalinos da pasta de cimento, principalmente o hidróxido de cálcio. Como consequência desse fenômeno tem-se a redução do pH do concreto provocando a despassivação das armaduras, ou seja elas se tornam susceptíveis à corrosão. Ocorre a partir da superfície, avançando progressivamente para o interior do concreto. Segundo o CEB/148(1982), a velocidade de carbonatação aumenta quando o ambiente possui grandes concentrações de  $\text{CO}_2$  (garagens, túneis etc.) e em concretos de elevada relação água/cimento (a/c) principalmente em ambientes com umidade relativa entre 50 e 70 °C. É um dano difícil de ser visualizado numa inspeção. Para ser detectada faz-se necessário o uso de um ensaio simples, com a aplicação de fenolftaleína com indicador na superfície recém fraturada do concreto. A parte do concreto carbonatada fica incolor ( $\text{pH} < 9,3$ ) e a parte não carbonatada adquire a cor vermelho-carmim. Depois de carbonatado o concreto é grande o risco de corrosão de armaduras na presença de umidade.

**b) Cobrimento deficiente:**

É um dano quando o cobrimento da peça de concreto não está atendendo ao cobrimento mínimo exigido pela norma de estruturas de concreto de acordo com a agressividade ambiental. A peça estrutural quando apresenta um cobrimento deficiente é mais suscetível à penetração de agentes agressivos que podem atacar as armaduras e dar início ao processo corroído.

A NBR6118/2003, recomenda que o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal ( $C_{nom}$ ), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução ( $\Delta c$ ). Quando houver um controle de qualidade rigoroso, pode ser adotado um valor  $\Delta c=5\text{mm}$  especificando este controle nos desenhos de projeto. Em caso contrário, nas obras correntes, seu valor deve ser de, no mínimo,  $\Delta c=10\text{ mm}$ , o que determina os cobrimentos nominais indicados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para  $\Delta c=10$  mm**  
(Tabela 7.2 da NBR-6118/2003)

| Tipo de estrutura                 | Componente ou elemento | Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1) |    |     |                  |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|----|-----|------------------|
|                                   |                        | I                                              | II | III | IV <sup>3)</sup> |
|                                   |                        | Cobrimento nominal mm                          |    |     |                  |
| Concreto armado                   | Laje <sup>2)</sup>     | 20                                             | 25 | 35  | 45               |
|                                   | Viga/Pilar             | 25                                             | 30 | 40  | 50               |
| Concreto protendido <sup>1)</sup> | Todos                  | 30                                             | 35 | 45  | 55               |

1) Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

2) Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contra piso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

3) Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Segundo a norma, os cobrimentos nominais e mínimos são sempre, referidos à superfície da armadura externa, em geral a face externa do estribo. O cobrimento nominal de uma determinada barra deve sempre ser:

$$c_{nom} \geq \Phi \text{ barra}$$

$$c_{nom} \geq \Phi \text{ feixe} = \Phi_n = \Phi_n$$

$$c_{nom} \geq 0,5 \Phi \text{ bainha}$$

Ainda segundo a norma, em se tratando de elementos estruturais pré fabricados, os valores de cobrimento mínimo das armaduras devem seguir o disposto na NBR 9062.

### c) Contaminação por cloretos:

A contaminação do concreto por cloretos pode ser causada: pelo emprego de aditivos à base de cloretos na execução do concreto, principalmente em peças pré moldadas; pela penetração de cloretos presentes no meio ambiente (como no caso de regiões à beira-mar); pelo uso de sais de degelo usados em climas frios; e água ou agregados contaminados. Também podem ser introduzidos no concreto pelo uso de produtos de limpeza de pisos e fachadas, que contenham cloretos como soluções de HCl em baixas concentrações (ácido muriático) e qualquer ambiente contaminado por cloretos, como caixas d'água

(especialmente o fundo da laje da tampa), locais de armazenamento de produtos à base de cloretos, etc.

O principal dano que provoca nas estruturas de concreto armado ou protendido é a corrosão das armaduras. As manifestações mais comuns são as fissuras, sobre as armaduras, quando a corrosão já está em estado mais avançado e a presença de manchas no concreto devido à retenção de umidade, freqüentemente com a criação de fungos.

Existe um valor limite de concentração de íons cloreto para que se possa iniciar o processo de corrosão das armaduras, sendo mais favorável em ambientes úmidos, uma vez que a água presente nos poros facilita o transporte de cloretos por difusão.

De acordo com o ACI 318-21 (2001) o conteúdo máximo de cloretos com relação à massa de cimento deve ser  $\leq 0,15 \%$  em ambientes com cloretos,  $\leq 0,3 \%$  em ambientes normal,  $\leq 1\%$  em ambiente seco e  $\leq 0,06 \%$  para concreto protendido.

Já a NBR 6118/2003 não se reporta ao teor de cloretos, mas enfatiza que não é permitido o uso de aditivos que os contenham em sua composição, tanto para concreto armado como para protendido.

#### **d) Corrosão de armaduras:**

A corrosão é um processo físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, produtos que ocupam um volume significativamente superior (em até 6 vezes) ao volume corroído das armaduras, provocando no concreto elevadas tensões de tração (de até 15 MPa). Essas tensões ocasionam a fissuração e o posterior deslocamento do cobrimento do concreto (Cánovas, 1988). No início, a corrosão pode se manifestar com o aparecimento de manchas marrom avermelhada ou esverdeada na superfície do elemento estrutural, devido à *lixiviação* dos produtos de corrosão. Com o passar do tempo a sua evolução, pode chegar até à perda total da seção da armadura.

Além dos danos ao concreto e da redução da capacidade resistente da armadura, a corrosão provoca a perda de aderência entre o aço e o concreto, e reduz a ductilidade da armadura.

#### **e) Desagregação:**

Separação física de partes de concreto ou dos agregados, principalmente, grãos, com perda de monolitismo e, na maioria das vezes, perda da capacidade aglomerante entre a pasta e os agregados. É um fenômeno característico de ataques químicos do concreto, em formas diversas: reação álcali-agregado, reações expansivas com sulfatos, ataques ácidos e também por ações biológicas (microorganismos). Quando existe a suspeita desses ataques químicos é requerida uma inspeção mais detalhada da sua extensão e causa.

#### **f) Deslocamentos por empuxo:**

Deslocamento de peças estruturais devido ao empuxo de terra, em especial sobre paredes de contenção, proveniente da pressão ativa exercida por um maciço não coesivo, sobre um anteparo vertical. As cortinas devem ser



providas de drenos, para evitar o acúmulo de água entre o terrapleno e a mesma, que resultaria em acréscimo do empuxo hidrostático. Além disso, o deslocamento pode ser causado pela saturação do maciço, podendo, ainda, ser agravado pela passagem de veículos.

#### **g) Desplacamento:**

Ocorrência de lascas ou escamas que se destacam do concreto não resultantes de ataque químico no concreto, e sim devido a um ou mais fatores: choques, movimentações térmicas, pressão ou expansão das armaduras no interior do concreto (corrosão).

#### **h) Desvios de geometria:**

Perda de alinhamento de elementos estruturais com relação ao seu eixo, produzindo excentricidade de carga. Pode ter como causas: deficiências na execução por movimentação ou incorreção de formas, ou movimentação da estrutura, por esforços não considerados corretamente ou imprevistos

#### **i) Eflorescência:**

De maneira geral, trata-se de uma manifestação da dissolução dos produtos de hidratação do cimento presentes no interior do concreto, principalmente os hidróxidos de sódio e potássio, em água (especialmente a água pura e branda) que são transportados para o exterior (lixiviação). Os produtos alcalinos e o hidróxido de cálcio que se depositam sobre a superfície do concreto, na presença do  $\text{CO}_2$  do ambiente, são carbonatados formando carbonatos, um produto insolúvel e esbranquiçado, podendo inclusive formar estalactite se a água for abundante. Se a água não for abundante e pressão for pequena, os produtos carbonatados pode inclusive colmatar possíveis fissuras ou falhas por onde a água migra. Quando existe a possibilidade da água presente conter algum tipo de ácido que ataque os produtos hidratados (silicatos e aluminatos hidratados) do cimento, deve-se fazer uma avaliação mais detalhada.

#### **j) Falha de concretagem (nichos ou ninhos de concreto):**

Deficiência na concretagem da peça, com exposição de agregados, devido a um ou mais dos fatores: dosagem inadequada, diâmetro máximo do agregado gráudo não condizente com as dimensões da peça, lançamento e/ou adensamento inadequados, taxas excessivas e espaçamento inadequado de armaduras e perda de nata de cimento por aberturas nas formas. Podem ocorrer situações em que não somente os agregados ficam expostos, como a possibilidade de exposição das armaduras dos elementos estruturais, nesse caso pode-se iniciar o processo corrosivo.

#### **k) Fissuração inaceitável:**

A NBR 6118/2003 dispõe que a fissuração é nociva quando a abertura das fissuras na superfície do concreto. A abertura máxima característica  $w_k^*$  das fissuras, desde que não exceda valores da ordem de 0,2 mm a 0,4 mm para o

concreto armado, conforme a Tabela 3:

**Tabela 3 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental**  
(Tabela 13.3 da NBR-6118/2003)

| Tipo de concreto estrutural                      | Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão | Exigências relativas à fissuração  | Combinação de ações em serviço a utilizar |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|
| Concreto simples                                 | CAA I a CAA IV                                              | Não há                             | ---                                       |
| Concreto armado                                  | CAA I                                                       | ELS-W wk ≤ 0,4 mm                  | Combinação freqüente                      |
|                                                  | CAA II a CAA III                                            | ELS-W wk ≤ 0,3 mm                  |                                           |
|                                                  | CAA IV                                                      | ELS-W wk ≤ 0,2 mm                  |                                           |
| Concreto Protendido Nível 1 (protensão parcial)  | Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II           | ELS-W wk ≤ 0,2 mm                  | Combinação freqüente                      |
| Concreto Protendido Nível 2 (protensão limitada) | Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV        | Verificar as duas condições abaixo |                                           |
|                                                  |                                                             | ELS-F                              | Combinação Freqüente                      |
|                                                  |                                                             | ELS-D1)                            | Combinação quase permanente               |
| Concreto protendido Nível 3 (protensão completa) | Pré-tração com CAA III e IV                                 | Verificar as duas condições abaixo |                                           |
|                                                  |                                                             | ELS-F                              | Combinação rara                           |
|                                                  |                                                             | ELS-D1)                            | Combinação Freqüente                      |

1) A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com ap = 25 mm (figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

Somente deve-se considerar nesse dano o surgimento de fissuras relacionadas ao estado fresco e endurecido do concreto e fissuras oriundas de cargas impostas. Portanto, aqui, as fissuras de ataque químico responsáveis por desagregação e corrosão devem ser desconsideradas.

\*  $w_k$  - Abertura característica de fissuras na superfície do concreto.

### I) Flechas excessivas:

A Norma 6118/2003 apresenta, dentre outros, os limites de deslocamento de peças estruturais, e o que eles podem causar nas estruturas dividindo em 4 grupos básicos ao que se refere à e mostrados na Tabela 4 :

1) Aceitabilidade sensorial – podem causar vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável;

2)Efeitos específicos – podem impedir a utilização adequada da estrutura;

3)Efeitos em elementos não estruturais – podem ocasionar defeito em elementos que não fazem parte da estrutura, mas, estão ligados à ela;

4)Efeitos em elementos estruturais – podem afetar as peças estruturais provocando afastamentos em relação às hipóteses de cálculos adotadas.

#### **m) Impermeabilização deficiente:**

A impermeabilização pode ser definida como um sistema de vedação constituído por materiais rígidos, plásticos ou elásticos, com a finalidade de impedir a penetração de umidade ou líquidos no concreto. No caso de reservatórios e cortinas, deve ser projetada para resistir às pressões hidrostáticas, o que não é necessário para as lajes de cobertura, terraços, calhas, onde não ocorre este tipo de pressão. Os danos podem ser causados por ações mecânicas, previsão incorreta de movimentos da estrutura e perda de elasticidade dos materiais utilizados.

#### **n) Manchas:**

Ocorrência de manchas escuras no concreto, devido à contaminação por fungos, mofo, etc., principalmente nas fachadas expostas. Outras manchas como as relacionadas à corrosão e eflorescências, não devem ser consideradas.

#### **o) Obstrução de juntas de dilatação:**

A junta de dilatação é uma separação física entre duas partes de uma estrutura, para que estas partes possam se movimentar sem transmissão de esforço entre elas. A presença de material rígido ou de material de preenchimento que tenha perdido a sua elasticidade produz tensões indesejáveis na estrutura, podendo ocasionar fissuras nas lajes adjacentes à junta, com a possibilidade de se propagar às vigas e pilares próximos. Os sistemas de vedação/enchimento das juntas devem acomodar a amplitude do movimento da mesma.

#### **p) Recalque:**

O recalque provoca movimentação na estrutura que, conforme o seu tipo, pode ser afetada pelo assentamento total máximo (recalque uniforme), pela inclinação uniforme (desaprumo) ou pelos assentamentos diferenciais (recalques diferenciais e distorções angulares).

Os recalques distorcionais das fundações, inadmissíveis estruturalmente, ocorrem por deformações excessivas e podem ser causados por um ou mais dos seguintes fatores de risco: ausência, insuficiência ou má qualidade das investigações geotécnicas; má interpretação dos resultados da investigação geotécnica; avaliação errônea dos valores dos esforços provenientes da estrutura (sub-dimensionamento); adoção inadequada da tensão admissível do solo ou da cota de apoio das fundações; modelos inconvenientes de cálculo

das fundações; cálculo estrutural incorreto; influências externas (escavações ou deslizamentos não previsíveis, agressividade ambiental, enchentes, construções vizinhas, descalçamento das fundações por escavações vizinhas); colapso do solo (por exemplo, devido à ruptura de tubulações subterrâneas ou vazamentos em reservatórios subterrâneos); alteração do nível do lençol freático; modificação no carregamento devido a mudança de utilização da estrutura (acréscimos ou ampliação de áreas), efeito piscina (entupimento de drenos), sobrecargas não previstas; cargas dinâmicas (vibrações, tremores de terra, etc.) e por fim, falha de manutenção em obras críticas.

**q) Sinais de esmagamento do concreto:**

Início do processo de desintegração do concreto. No caso de pilares, caracteriza-se pelo aparecimento de fissuras diagonais. É causado por sobrecargas excessivas ou movimentação da estrutura, podendo evoluir para um intenso lascamento do concreto, com perda de seção e flambagem das armaduras.

**r) Umidade:**

Penetração de águas, agressivas ou não, em peças estruturais, através de fissuras, ninhos de concretagem, juntas de concretagem mal executadas ou devido à alta porosidade do concreto. Pode ainda, ter origem em danos na impermeabilização, deficiências no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações, etc. Esse dano pode favorecer: o aparecimento da corrosão; a lixiviação; e danos nos demais elementos da edificação.

**s) Umidade na base:**

A presença de umidade na base de pilares e/ou blocos de fundação, pela sua gravidade, deve ser tratada como dano específico. Podem ser proveniente de deficiência no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações, vazamento em reservatórios enterrados, etc. A presença de umidade pode favorecer o aparecimento de recalques.

### **3. CÁLCULO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DOS ELEMENTOS E DA ESTRUTURA**

#### **3.1 - Preliminares**

São apresentados, a seguir, os parâmetros para aplicação da metodologia que visa quantificar os graus de deterioração dos elementos e da estrutura. Partindo dos fatores de ponderação e de intensidade dos danos nos elementos, faz-se a determinação seqüencial dos graus dos danos existentes em cada elemento estrutural, dos graus de deterioração dos elementos e das famílias de elementos de mesma natureza, e, por fim, do grau de deterioração da estrutura, conforme proposto por Castro, Clímaco e Nepomuceno (1995).

São também apresentadas, ao fim deste caderno, as tabelas A.1, A.2 e A.3, onde são classificados os danos e seus devidos valores de intensidade ( $F_i$ ) para cada tipo de manifestação presente, onde se deve preencher o valor de

intensidade ( $F_i$ ) nas tabelas de inspeção como o valor que traduz a realidade do local inspecionado por técnicos especificamente treinados. Como complemento do trabalho de inspeção/avaliação da estrutura, e com o objetivo de confrontar os resultados obtidos da aplicação da metodologia com a situação física real da edificação, é altamente recomendável que seja feita uma ampla documentação fotográfica, que deverá constar do Relatório de Avaliação.

### 3.2 - Fator de ponderação do dano ( $F_p$ )

Fator que visa quantificar a importância relativa de um determinado dano, no que se refere às condições gerais de estética, funcionalidade e segurança dos elementos de uma família, tendo em vista as manifestações patológicas passíveis de serem neles detectadas. Para sua definição são estabelecidos os problemas mais relevantes quanto aos aspectos de durabilidade e segurança estrutural. Assim, para cada manifestação patológica, e em função da família de elementos que apresentam o problema, foi estabelecido um grau numa escala de 1 a 5. Uma determinada manifestação patológica pode ter fatores de ponderação diferentes de acordo com as características da família onde o elemento se insere, dependendo das consequências que o dano possa acarretar.

### 3.3 - Fator de intensidade do dano ( $F_i$ )

Fator que classifica a gravidade e evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, segundo uma escala de 0 a 4, como segue:

- elemento sem lesões  $F_i = 0$
- elemento com lesões leves  $F_i = 1$
- elemento com lesões toleráveis  $F_i = 2$
- elemento com lesões graves  $F_i = 3$
- elemento em estado crítico  $F_i = 4$

A Tabela A.1, ao fim do texto, apresenta uma classificação dos tipos de danos mais frequentes em edificações usuais com estrutura de concreto armado, com uma identificação do nível de gravidade das lesões e descrição sucinta das intensidades das manifestações, conforme características específicas, para fins de aplicação desta metodologia.

O Anexo 2, com fotos ilustrativas, foi inserido com a finalidade de facilitar a identificação dos danos e a atribuição dos Fatores de intensidade.

### 3.4 - Grau do dano ( $D$ ), Grau de deterioração de um elemento ( $G_{de}$ ), Grau de deterioração de uma família de elementos ( $G_{df}$ ) e Grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ):

O grau de cada dano no elemento estrutural é calculado em função do fator de ponderação ( $F_p$ ) e respectivo fator de intensidade ( $F_i$ ), atribuídos conforme este Roteiro de Inspeção.

No Anexo 1 foram reunidas as fórmulas necessárias, na sua forma modificada, para o cálculo do Grau do Dano ( $D$ ), Grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ),

Grau de deterioração de uma família de elementos (***G<sub>dt</sub>***) e Grau de deterioração da estrutura (***G<sub>d</sub>***). As modificações propostas resultaram de dezenas de aplicações da metodologia.

#### **4. PLANILHAS DE DANOS PARA FAMÍLIAS DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS**

A Tabela A.2 apresenta as planilhas específicas para as famílias de elementos mais comuns em estruturas de concreto de edificações usuais, com os danos possíveis e os respectivos fatores de ponderação, para uso na presente metodologia. Os fatores sugeridos na tabela foram definidos a partir de uma gama extensa de testes de aplicação (Castro, 1994; Lopes, 1998; Boldo, 2002).

A Tabela A.3 apresenta a tipologia de fissuras em elementos de concreto armado, com uma descrição sucinta de suas manifestações, croquis para auxiliar na sua identificação e os respectivos fatores de ponderação. Os fatores sugeridos na tabela foram definidos de acordo com a gravidade de cada fissura.

Os valores numéricos atribuídos aos fatores não devem, no entanto, ser encarados de forma rígida, podendo ser modificados, segundo as indicações de cada análise específica.



**Tabela 4 - Limites para deslocamentos**  
(Tabela 13.2 da NBR 6118/2003)

| Tipo de efeito                       | Razão de Limitação                                      | Exemplo                                                                                                                                                                                                    | Deslocamentos a considerar                                               | Deslocamento limite                                         |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Aceitabilidade sensorial             | Visual                                                  | Deslocamentos visíveis em elementos estruturais                                                                                                                                                            | Total                                                                    | $l/250$                                                     |
|                                      | Outro                                                   | Vibrações sentidas no piso                                                                                                                                                                                 | Desvio de cargas                                                         | $l/350$                                                     |
| Efeitos estruturais em serviço       | Superfícies que devem drenar água                       | Coberturas e varandas                                                                                                                                                                                      | Total                                                                    | $l/250^{1)}$                                                |
|                                      | Pavimentos que devem permanecer planos                  | Ginásios e pista de boliche                                                                                                                                                                                | Total                                                                    | $l/350 + \text{contraflecha}^{2)}$                          |
|                                      |                                                         |                                                                                                                                                                                                            | Ocorrido após a construção do piso                                       | $l/600$                                                     |
|                                      | Elementos que suportam equipamentos sensíveis           | Laboratórios                                                                                                                                                                                               | Ocorrido após nivelamento do equipamento                                 | De acordo com recomendação do fabricante do equipamento     |
| Efeitos em elementos não estruturais | Paredes                                                 | Alvenarias, caixilhos e revestimentos                                                                                                                                                                      | Após a construção da parede                                              | $l/500^{3)}$ ou 10 mm ou $\theta = 0,0017 \text{ rad}^{4)}$ |
|                                      |                                                         | Divisórias leves e caixilhos telescópicos                                                                                                                                                                  | Ocorrido após a instalação da divisória                                  | $l/250^{3)}$ ou 25 mm                                       |
|                                      |                                                         | Movimento lateral de edifícios                                                                                                                                                                             | Provocado pela ação do vento para combinação Frequente ( $\psi_1=0,30$ ) | $H/1700$ ou $H_i/850^{5)}$ entre pavimentos <sup>6)</sup>   |
|                                      |                                                         | Movimentos térmicos verticais                                                                                                                                                                              | Provocado por diferença de temperatura                                   | $l/400^{7)}$ ou 15 mm                                       |
|                                      | Forros                                                  | Movimentos térmicos horizontais                                                                                                                                                                            | Provocado por diferença de temperatura                                   | $H_i/500$                                                   |
|                                      |                                                         | Revestimentos colados                                                                                                                                                                                      | Ocorrido após construção do Forros                                       | $l/350$                                                     |
|                                      |                                                         | Revestimentos pendurados ou com juntas                                                                                                                                                                     | Deslocamento ocorrido após construção do forro                           | $l/175$                                                     |
|                                      | Pontes Rolantes                                         | Desalinhamento de trilhos                                                                                                                                                                                  | Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem               | $H/400$                                                     |
| Efeitos em elementos estruturais     | Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas | Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-as ao modelo estrutural adotado. |                                                                          |                                                             |

1) As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.

2) Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que  $l/350$ .

3) O vão  $l$  deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

4) Rotação nos elementos que suportam paredes.

5)  $H$  é a altura total do edifício e  $H_i$  o desnível entre dois pavimentos vizinhos.

6) Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos devido à atuação de ações horizontais. Não devem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica para o deslocamento

vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando  $H_i$  representa o comprimento do lintel.

7) O valor  $l$  refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

#### NOTAS

1 Todos os valores limites de deslocamentos supõem elementos de vão  $l$  suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.

2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor  $l$  é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.

3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na seção 11. 4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

Tabela A.1 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (  $F_i$  ) (continua)

| <b>Tipos de danos</b>            | <b>Fator de intensidade do dano - Tipos de manifestação</b>                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Carbonatação</i>              | 1 - localizada, com algumas regiões com $pH < 9$ , sem atingir a armadura;<br>2 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco;<br>3 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido;<br>4 - generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.                               |
| <i>Cobrimento deficiente</i>     | 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 |
| <i>Contaminação por cloretos</i> | 2 - em elementos no interior sem umidade;<br>3 - em elementos no exterior sem umidade;<br>4 - em ambientes úmidos.                                                                                                                                                                            |
| <i>Corrosão de armaduras</i>     | 2 - manifestações leves, pequenas manchas;<br>3 - grandes manchas e/ou fissuras de corrosão;<br>4 - corrosão acentuada na armadura principal, c/perda relevante de seção.                                                                                                                     |
| <i>Desagregação</i>              | 2 - início de manifestação;<br>3 - manifestações leves, início de estofamento do concreto;<br>4 - por perda acentuada de seção e esfarelamento do concreto.                                                                                                                                   |
| <i>Deslocamento por empuxo</i>   | 3 - deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável;<br>4 - deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável.                                                                                                                                                   |
| <i>Desplacamento</i>             | 2 - pequenas escamações do concreto;<br>3 - lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura;<br>4 - lascamento acentuado com perda relevante de seção                                                                                                                             |
| <i>Desvios de geometria</i>      | 2 - pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ ( $h$ = altura);<br>3 - pilares e cortinas com excentricidades $h/100 \leq e < h/50$ ;<br>4 - pilares e cortinas com excentricidades $\geq h/50$ .                                                                                     |
| <i>Eflorescência</i>             | 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).                                                                                                |
| <i>Falha de concretagem</i>      | 1 - superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça;<br>2 - significativa em relação às dimensões da peça;<br>3 - profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura<br>4 - perda relevante da seção da peça.                                        |



**Tabela A.1 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (  $F_i$  ) (continuação)**

| <b>Tipos de danos</b>                    | <b>Fator de intensidade do dano - Tipos de manifestação</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Fissuras</i>                          | <p>1 - abertura menores do que as máximas previstas em norma;</p> <p>2 - estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma;</p> <p>3 - aberturas excessivas; estabilizadas;</p> <p>4 - aberturas excessivas; não estabilizadas.</p>                                                                                                                                                                             |
| <i>Flechas</i>                           | <p>1 - não perceptíveis a olho nu;</p> <p>2 - perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos na norma;</p> <p>3 - superiores em até 40% às previstas na norma;</p> <p>4 - excessivas.</p>                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>Impermeabilização deficiente</i>      | <p>2 - danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização;</p> <p>3 - descontinuada, degradada em alguns pontos (pontos de infiltração);</p> <p>4 - degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.</p>                                                                                                                                                                       |
| <i>Manchas</i>                           | <p>2 - manchas escuras de pouca extensão, porém 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>                                                                                                                                                                             |
| <i>Obstrução de juntas de dilatação</i>  | <p>2 - perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes;</p> <p>3 - presença de material não compressível na junta; grande incidência de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes;</p> <p>4 - fissuras em lajes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.</p>                                                                |
| <i>Recalques</i>                         | <p>2 - indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria;</p> <p>3 - recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais;</p> <p>4 - recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.</p>                                                                                                                                                                                                  |
| <i>Sinais de esmagamento do concreto</i> | <p>3 - desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas;</p> <p>4 - fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento e/ou esmagamento do concreto devido ao cisalhamento e a compressão, com perda substancial de material; deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura.</p> |

***Tabela A.1 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (  $F_i$  ) (continuação)***

| <b>Tipos de danos</b>  | <b><i>Fator de intensidade do dano - Tipos de manifestação</i></b>                                                                                                                        |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Umidade</i>         | <p>1 - indícios de umidade;</p> <p>2 - pequenas manchas;</p> <p>3 - grandes manchas;</p> <p>4 - generalizada.</p>                                                                         |
| <i>Umidade na base</i> | <p>3 - indícios de vazamento em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações;</p> <p>4 - vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto às fundações.</p> |

Tabela A.2 – Planilhas para avaliação das famílias de elementos estruturais comuns às estruturas de pontes. (continua)

Planilhas para inspeção.  
PILARES

| Nome do Elemento          |        |    |   |                     |
|---------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Local                     |        |    |   |                     |
| Danos                     | Fp     | Fi | 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      |    |   |                     |

| Nome do Elemento          |        |    |   |                     |
|---------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Local                     |        |    |   |                     |
| Danos                     | Fp     | Fi | 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      |    |   |                     |

Tabela A.2 – Planilhas para avaliação das famílias de elementos estruturais comuns às estruturas de pontes. (continuação)

Planilhas para inspeção.  
VIGAS

| Nome do Elemento          |        |    |   |                     |
|---------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Local                     |        |    |   |                     |
| Danos                     | Fp     | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação              | 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* |    |   |                     |
| Flechas                   | 5      |    |   |                     |
| Manchas                   | 3      |    |   |                     |
| Sinais de esmagamento     | 4      |    |   |                     |
| Umidade na base           | 3      |    |   |                     |

| Nome do Elemento          |        |    |   |                     |
|---------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Local                     |        |    |   |                     |
| Danos                     | Fp     | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação              | 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* |    |   |                     |
| Flechas                   | 5      |    |   |                     |
| Manchas                   | 3      |    |   |                     |
| Sinais de esmagamento     | 4      |    |   |                     |
| Umidade na base           | 3      |    |   |                     |

Tabela A.2 – Planilhas para avaliação das famílias de elementos estruturais comuns às estruturas de pontes. (continuação)

Planilhas para inspeção.  
LAJES

| Nome do Elemento          |        |    |   |                     |
|---------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Local                     |        |    |   |                     |
| Danos                     | Fp     | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação              | 3      |    |   |                     |
| Cobrimento deficiente     | 3      |    |   |                     |
| Contaminação por cloretos | 3      |    |   |                     |
| Corrosão de armaduras     | 5      |    |   |                     |
| Desagregação              | 3      |    |   |                     |
| Desplacamento             | 3      |    |   |                     |
| Eflorescência             | 2      |    |   |                     |
| Falha de concretagem      | 2      |    |   |                     |
| Fissuras                  | 2 a 5* |    |   |                     |
| Flechas                   | 5      |    |   |                     |
| Manchas                   | 3      |    |   |                     |
| Umidade na base           | 3      |    |   |                     |

| Nome do Elemento          |        |    |   |                     |
|---------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Local                     |        |    |   |                     |
| Danos                     | Fp     | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação              | 3      |    |   |                     |
| Cobrimento deficiente     | 3      |    |   |                     |
| Contaminação por cloretos | 3      |    |   |                     |
| Corrosão de armaduras     | 5      |    |   |                     |
| Desagregação              | 3      |    |   |                     |
| Desplacamento             | 3      |    |   |                     |
| Eflorescência             | 2      |    |   |                     |
| Falha de concretagem      | 2      |    |   |                     |
| Fissuras                  | 2 a 5* |    |   |                     |
| Flechas                   | 5      |    |   |                     |
| Manchas                   | 3      |    |   |                     |
| Umidade na base           | 3      |    |   |                     |

Tabela A.2 – Planilhas para avaliação das famílias de elementos estruturais comuns às estruturas de pontes. (continuação)

Planilhas para inspeção.  
BARREIRAS DE DEFESAS e/ou GUARDA-CORPOS

| Nome do Elemento          |        |    |   |                     |
|---------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Local                     |        |    |   |                     |
| Danos                     | Fp     | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação              | 3      |    |   |                     |
| Cobrimento deficiente     | 3      |    |   |                     |
| Contaminação por cloretos | 4      |    |   |                     |
| Corrosão de armaduras     | 5      |    |   |                     |
| Danos por impacto         | 5      |    |   |                     |
| Desagregação              | 3      |    |   |                     |
| Desplacamento             | 3      |    |   |                     |
| Eflorescência             | 2      |    |   |                     |
| Falha de concretagem      | 2      |    |   |                     |
| Fissuras                  | 2 a 5* |    |   |                     |
| Flechas                   | 5      |    |   |                     |
| Manchas                   | 3      |    |   |                     |
| Umidade                   | 3      |    |   |                     |

| Nome do Elemento          |        |    |   |                     |
|---------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Local                     |        |    |   |                     |
| Danos                     | Fp     | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação              | 3      |    |   |                     |
| Cobrimento deficiente     | 3      |    |   |                     |
| Contaminação por cloretos | 4      |    |   |                     |
| Corrosão de armaduras     | 5      |    |   |                     |
| Danos por impacto         | 5      |    |   |                     |
| Desagregação              | 3      |    |   |                     |
| Desplacamento             | 3      |    |   |                     |
| Eflorescência             | 2      |    |   |                     |
| Falha de concretagem      | 2      |    |   |                     |
| Fissuras                  | 2 a 5* |    |   |                     |
| Flechas                   | 5      |    |   |                     |
| Manchas                   | 3      |    |   |                     |
| Umidade                   | 3      |    |   |                     |

Tabela A.2 – Planilhas para avaliação das famílias de elementos estruturais comuns às estruturas de pontes. (continuação)

Planilhas para inspeção.  
CORTINAS (MURROS DE ARRIMO/PEGÕES)

| Nome do Elemento          |        |    |   |                     |
|---------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Local                     |        |    |   |                     |
| Danos                     | Fp     | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação              | 3      |    |   |                     |
| Cobrimento deficiente     | 3      |    |   |                     |
| Contaminação por cloretos | 4      |    |   |                     |
| Corrosão de armaduras     | 5      |    |   |                     |
| Desagregação              | 3      |    |   |                     |
| Deslocamento por empuxo   | 5      |    |   |                     |
| Desplacamento             | 3      |    |   |                     |
| Desvio de geometria       | 3      |    |   |                     |
| Eflorescência             | 2      |    |   |                     |
| Falha de concretagem      | 2      |    |   |                     |
| Fissuras                  | 2 a 5* |    |   |                     |
| Manchas                   | 3      |    |   |                     |
| Sinais de esmagamento     | 5      |    |   |                     |
| Umidade                   | 3      |    |   |                     |

| Nome do Elemento          |        |    |   |                     |
|---------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Local                     |        |    |   |                     |
| Danos                     | Fp     | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação              | 3      |    |   |                     |
| Cobrimento deficiente     | 3      |    |   |                     |
| Contaminação por cloretos | 4      |    |   |                     |
| Corrosão de armaduras     | 5      |    |   |                     |
| Desagregação              | 3      |    |   |                     |
| Deslocamento por empuxo   | 5      |    |   |                     |
| Desplacamento             | 3      |    |   |                     |
| Desvio de geometria       | 3      |    |   |                     |
| Eflorescência             | 2      |    |   |                     |
| Falha de concretagem      | 2      |    |   |                     |
| Fissuras                  | 2 a 5* |    |   |                     |
| Manchas                   | 3      |    |   |                     |
| Sinais de esmagamento     | 5      |    |   |                     |
| Umidade                   | 3      |    |   |                     |

Tabela A.2 – Planilhas para avaliação das famílias de elementos estruturais comuns às estruturas de pontes. (continuação)

Planilhas para inspeção.  
BLOCOS DE FUNDAÇÃO

| Nome do Elemento          |        |    |   |                     |
|---------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Local                     |        |    |   |                     |
| Danos                     | Fp     | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação              | 3      |    |   |                     |
| Cobrimento deficiente     | 3      |    |   |                     |
| Contaminação por cloretos | 4      |    |   |                     |
| Corrosão de armaduras     | 5      |    |   |                     |
| Desagregação              | 3      |    |   |                     |
| Desplacamento             | 3      |    |   |                     |
| Eflorescência             | 2      |    |   |                     |
| Falha de concretagem      | 3      |    |   |                     |
| Fissuras                  | 2 a 5* |    |   |                     |
| Recalque                  | 5      |    |   |                     |
| Sinais de esmagamento     | 5      |    |   |                     |
| Umidade na base           | 3      |    |   |                     |

| Nome do Elemento          |        |    |   |                     |
|---------------------------|--------|----|---|---------------------|
| Local                     |        |    |   |                     |
| Danos                     | Fp     | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação              | 3      |    |   |                     |
| Cobrimento deficiente     | 3      |    |   |                     |
| Contaminação por cloretos | 4      |    |   |                     |
| Corrosão de armaduras     | 5      |    |   |                     |
| Desagregação              | 3      |    |   |                     |
| Desplacamento             | 3      |    |   |                     |
| Eflorescência             | 2      |    |   |                     |
| Falha de concretagem      | 3      |    |   |                     |
| Fissuras                  | 2 a 5* |    |   |                     |
| Recalque                  | 5      |    |   |                     |
| Sinais de esmagamento     | 5      |    |   |                     |
| Umidade na base           | 3      |    |   |                     |



Tabela A.2 – Planilhas para avaliação das famílias de elementos estruturais comuns às estruturas de pontes. (continuação)

Planilhas para inspeção.  
PISTA DE ROLAGEM

| Nome do Elemento        |    |    |   |                     |
|-------------------------|----|----|---|---------------------|
| Local                   |    |    |   |                     |
| Danos                   | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Descontinuidade         | 5  |    |   |                     |
| Desgaste da sinalização | 5  |    |   |                     |
| Desgaste superficial    | 5  |    |   |                     |

JUNTAS DE DILATAÇÃO

| Nome do Elemento                               |    |    |   |                     |
|------------------------------------------------|----|----|---|---------------------|
| Local                                          |    |    |   |                     |
| Danos                                          | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Desgaste do material de preenchimento da junta | 5  |    |   |                     |
| Obstrução da junta                             | 5  |    |   |                     |
| Umidade                                        | 5  |    |   |                     |

| Nome do Elemento                               |    |    |   |                     |
|------------------------------------------------|----|----|---|---------------------|
| Local                                          |    |    |   |                     |
| Danos                                          | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Desgaste do material de preenchimento da junta | 5  |    |   |                     |
| Obstrução da junta                             | 5  |    |   |                     |
| Umidade                                        | 5  |    |   |                     |

Tabela A.2 – Planilhas para avaliação das famílias de elementos estruturais comuns às estruturas de pontes. (continuação)

Planilhas para inspeção.  
APARELHO DE APOIO

| Nome do Elemento                        |    |    |   |                     |
|-----------------------------------------|----|----|---|---------------------|
| Local                                   |    |    |   |                     |
| Danos                                   | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Cobrimento deficiente (RÓTULA)          | 3  |    |   |                     |
| Corrosão de armaduras (RÓTULA)          | 5  |    |   |                     |
| Deslocamento (NEOPRENE)                 | 5  |    |   |                     |
| Desplacamento (RÓTULA)                  | 3  |    |   |                     |
| Sinais de esmagamento (RÓTULA/NEOPRENE) | 5  |    |   |                     |

| Nome do Elemento                        |    |    |   |                     |
|-----------------------------------------|----|----|---|---------------------|
| Local                                   |    |    |   |                     |
| Danos                                   | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Cobrimento deficiente (RÓTULA)          | 3  |    |   |                     |
| Corrosão de armaduras (RÓTULA)          | 5  |    |   |                     |
| Deslocamento (NEOPRENE)                 | 5  |    |   |                     |
| Desplacamento (RÓTULA)                  | 3  |    |   |                     |
| Sinais de esmagamento (RÓTULA/NEOPRENE) | 5  |    |   |                     |

| Nome do Elemento                        |    |    |   |                     |
|-----------------------------------------|----|----|---|---------------------|
| Local                                   |    |    |   |                     |
| Danos                                   | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Cobrimento deficiente (RÓTULA)          | 3  |    |   |                     |
| Corrosão de armaduras (RÓTULA)          | 5  |    |   |                     |
| Deslocamento (NEOPRENE)                 | 5  |    |   |                     |
| Desplacamento (RÓTULA)                  | 3  |    |   |                     |
| Sinais de esmagamento (RÓTULA/NEOPRENE) | 5  |    |   |                     |

Tabela A.3 - Tipologia de fissuras em elementos de concreto armado (continua)

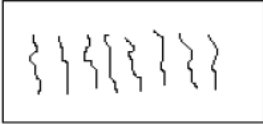
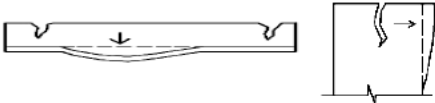
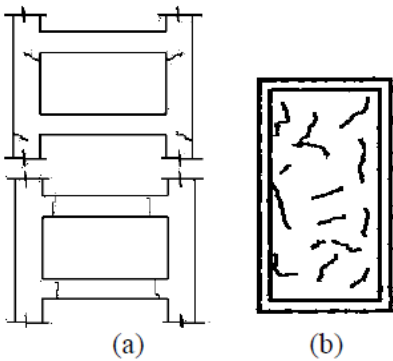
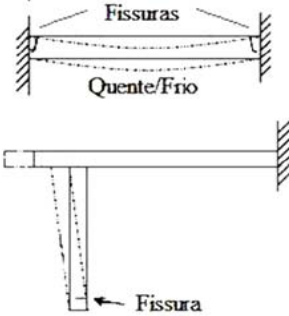
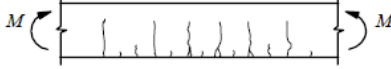
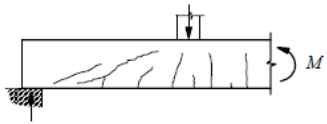
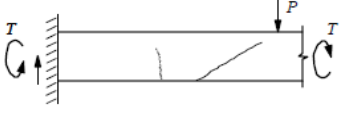
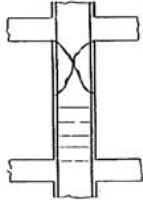
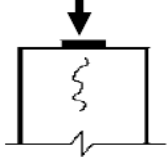
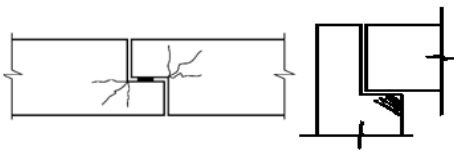
|                   | Fissuras*                           | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Croquis                                                                              | $F_p$ |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ESTADO PLÁSTICO   | de retração plástica do concreto    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- comuns em lajes e paredes</li> <li>- paralelas, superficiais e afastadas de 0,3 a 1 m.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                           |   | 2     |
|                   | de assentamento do concreto         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- acompanham 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 mau posicionamento, má fixação ou resistência insuficiente de fôrmas e escoramentos</li> </ul>                                                                                                                                                                                                      |    | 3     |
| ESTADO ENDURECIDO | de retração do concreto por secagem | <ul style="list-style-type: none"> <li>- vigas podem ocasionar fissuras nos pilares e vice-versa, por diferenças de rigidez (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 de 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>- indicam desempenho excessivo.</li> <li>- danos apenas 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 e/ou sua inexistência</li> </ul>                                                                                                                                     |  | 3     |

Tabela A.3 - Tipologia de fissuras em elementos de concreto armado (continuação)

| ERROS DE PROJETO/ EXECUÇÃO OU CARGAS EXCESSIVAS | Fissuras*                                         | Descrição                                                                                                                                                                          | Croquis                                                                               | $F_p$ |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|                                                 | de flexão em vigas                                | - normais ao eixo, em trechos de momento fletor elevado e com boa aderência aço-concreto                                                                                           |     | 4     |
|                                                 | de força cortante - flexão em vigas               | - inclinadas nas duas faces<br>- podem entrar na zona de compressão e se dirigir aos apoios                                                                                        |    | 4     |
|                                                 | de cortante, momentos de torção e flexão em vigas | - inclinadas em uma face<br>- na face oposta: menor abertura e inclinação                                                                                                          |    | 4     |
|                                                 | de flexo-tração em pilares                        | - normais ao eixo do pilar na face tracionada<br>- paralelas ao eixo na face comprimida, podem indicar esmagamento do concreto<br>- mais próximas de extremidade com maior momento |    | 5     |
|                                                 | de compressão                                     | - paralelas ao eixo e convergindo para o centro nas proximidades de ruptura<br>- indicam espaçamento excessivo ou deslocamento de estribos                                         |   | 5     |
|                                                 | de carga concentrada em área reduzida             | - comuns em apoios de pontes, estruturas pré-moldadas e apoios indiretos<br>- indicam armadura deficiente de fretagem e mau detalhamento                                           |  | 3     |
|                                                 | em apoios do tipo gerber (vigas e pilares)        | - comuns em pontes e estruturas pré-moldadas<br>- indicam deficiência de aparelhos de apoio e/ou detalhamento inadequado                                                           |   | 3     |
|                                                 | de flexão em lajes                                | - na face inferior, paralelas aos vãos com continuidade ou vãos maiores, se estendendo em direção aos cantos<br>- na face superior, paralelas aos e bordos com continuidade        |  | 4     |
|                                                 | de momentos volventes                             | - em cantos de lajes extremas, podendo abrir nas duas faces<br>- influenciadas por variações de temperatura e retração                                                             |  | 3     |
|                                                 | de punção                                         | - traçado circular e/ou radial em torno do pilar                                                                                                                                   |  | 5     |

### Fator de relevância Estrutural (Fr)

- Barreira de Defesas e/ou Guarda - rodas  $Fr = 1,0$
- Pista de Rolagem  $Fr = 2,0$
- Cortinas, Juntas de dilatação  $Fr = 3,0$
- Lajes, Fundações, Aparelho de Apoio, Vigas Secundárias  $Fr = 4,0$
- Vigas Principais e Pilares  $Fr = 5,0$

### ANEXO 1 - Fórmulas e Tabelas

#### Grau do Dano ( $D$ )

$$D = 0,8 F_i F_p \quad \text{para } F_i \leq 2,0$$

$$D = (12 F_i - 28) F_p \quad \text{para } F_i > 2,0$$

#### Grau de deterioração de um elemento ( $G_{de}$ )

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

Tabela 1 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento.

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

**Grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ )**

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^K F_{r(i)} G_{df(i)}}{\sum F_{r(i)}}$$

Tabela 2 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura.

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



Fig. 7 - Corrosão ( $F_i=3$ ),  
(desplacamento no pé do pilar ( $F_i=3$ ))



Fig. 8 - Corrosão ( $F_i=4$ )



Fig. 10 - Corrosão na parte superior do  
pilar ( $F_i=3$ )



Fig. 9 - Corrosão ( $F_i=4$ )  
Desplacamento ( $F_i=4$ )



Fig. 11 - Corrosão ( $F_i=3$ )





Fig. 12 - Desagregação do concreto na viga ( $F_i=4$ ) e Falha de concretagem no pilar ( $F_i=1$ )



Fig. 15 - Desagregação do concreto ( $F_i=3$ )



Fig. 13 - Desagregação do concreto ( $F_i=4$ )



Fig. 16 - Eflorescência ( $F_i=1$ )



Fig. 14 - Desagregação ( $F_i=3$ )



Fig. 17 - Eflorescência ( $F_i=2$ )





Fig. 18 – Eflorescência ( $F_i=3$ )



Fig. 21 – Desplacamento ( $F_i=3$ )



Fig. 19 – Eflorescência ( $F_i=4$ )



Fig. 22 – Fissura em viga ( $F_i=3$ )



Fig. 20 – Desplacamento ( $F_i=2$ )



Fig. 23 – Fissura ( $F_i=3$ )



Fig. 24 - Fissura ( $F_i=3$ )



Fig. 27 - Impermeabilização degradada (calha em laje de cobertura) ( $F_i=4$ )



Fig. 25 - Fissura em laje ( $F_i=3$ )



Fig. 28 - Umidade ( $F_i=2$ )



Fig. 26 - Fissura de cisalhamento ( $F_i=2$ )



Fig. 29 - Umidade generalizada na laje ( $F_i=4$ )



Fig. 30 - Umidade ( $F_i=3$ )/  
eflorescência ( $F_i=3$ )



Fig. 33 - Obstrução da junta de  
dilatação ( $F_i=3$ )



Fig. 31 - Manchas ( $F_i=4$ )



Fig. 34 - Obstrução de juntas de dilatação  
( $F_i=3$ )



Fig. 32 - Manchas ( $F_i=3$ )



Fig. 35 - Obstrução de juntas de dilatação  
( $F_i=3$ )





Fig. 36 – Falha de concretagem (Fi=2)

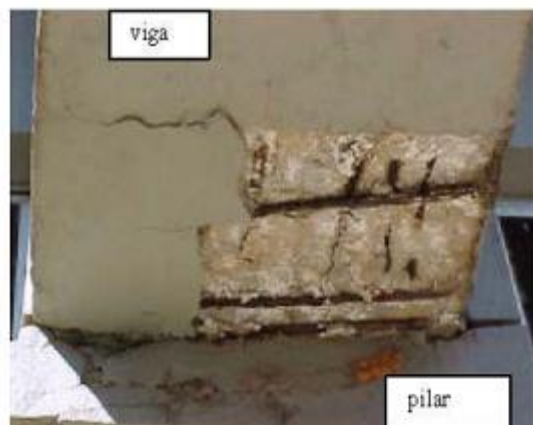


Fig. 39 – sinais de esmagamento no concreto do pilar (Fi=3) e corrosão na viga (Fi=4)



Fig. 37 – Falha de concretagem (Fi=2)



Fig. 40 – sinais de esmagamento do concreto em pilar com flambagem da armadura (Fi=4)



Fig. 38 – Falha de concretagem (Fi=2)



Fig. 41 - Corrosão de armaduras (Fi=2)



Fig. 42 – Mancha de Eflorescência (Fi=3)



Fig. 43 – Desgaste superficial na pista de rolagem (Fi=2)



Fig. 44 – Armadura exposta. (Fi=3)



Fig. 45 – Fissuração excessiva A.A. (Fi =3)



Fig. 46 – Eflorescência (Fi=3)





Fig. 47 – Corrosão de Armaduras (Fi =3)



Fig. 48 – Cobrimento Deficiente. (Fi=3)



Fig. 49 – Desgaste no A.A. (Fi =4)



Fig. 50 – Falha de Concretagem. (Fi=2)



Fig. 51 – Sinais de Esmagamento (Fi =3)



Fig.52 – Falha de Concretagem. (Fi=1)