

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO COMO  
INSTRUMENTO DE PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM OBRAS  
DE ARTE ESPECIAIS**

**ROGÉRIO CALAZANS VERLY**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E  
CONSTRUÇÃO CIVIL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO COMO  
INSTRUMENTO DE PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM  
OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**

**ROGÉRIO CALAZANS VERLY**

**ORIENTADOR: JOÃO HENRIQUE DA SILVA RÊGO (Dr., UnB)  
CO-ORIENTADORA: ELIANE KRAUS DE CASTRO (Dr., UnB)**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM - 015A/15  
BRASÍLIA/DF: JUNHO DE 2015**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO COMO  
INSTRUMENTO DE PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM  
OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**

**ROGÉRIO CALAZANS VERLY**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU  
DE MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. João Henrique da Silva Rêgo, Dr. (UnB)  
(Orientador)**

---

**Profa. Eliane Kraus de Castro, Dr. (UnB)  
(Co-Orientadora)**

---

**Prof. Elton Bauer, Dr. (UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, PhD. (UFRGS)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 29 DE JUNHO DE 2015**

## **RESUMO**

### **AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO COMO INSTRUMENTO DE PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**

**Autor: Rogério Calazans Verly**

**Orientador: João Henrique da Silva Rêgo**

**Co-Orientadora: Eliane Kraus de Castro**

**Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil**

**Brasília, junho de 2015**

Intervenções adequadas realizadas em momentos oportunos são uma forma eficiente de se interferir no processo de deterioração de estruturas de Obras de Arte Especiais - OAEs. O objetivo deste trabalho é avaliar duas metodologias de inspeção de estruturas quanto à priorização das OAEs para intervenções: a primeira delas é aplicada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, e a segunda é a metodologia GDE/UnB, desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília - PECC/UnB. Foram realizadas inspeções visuais em 22 OAEs localizadas em Brasília/DF e os dados coletados foram utilizados para a avaliação das estruturas pelas duas metodologias estudadas. Os resultados obtidos foram analisados e a formulação da metodologia GDE/UnB foi alterada para um melhor ajuste à aplicação em um sistema de gestão de OAEs. Posteriormente, analisou-se a incidência dos diferentes danos nas estruturas inspecionadas. Concluiu-se que a metodologia GDE/UnB, com a formulação proposta neste trabalho, apresenta resultados com valores mais escalonados que os fornecidos pela metodologia do DNIT, o que facilitou a priorização das estruturas para intervenções.

Palavras chave: Obras de arte especiais, Patologia, Metodologia de inspeção, Estruturas.

## **ABSTRACT**

### **EVALUATION OF INSPECTION METHODOLOGIES AS AN INSTRUMENT OF PRIORITIZATION FOR BRIDGE INTERVENTIONS**

**Author: Rogério Calazans Verly**

**Supervisor: João Henrique da Silva Rêgo**

**Assistant Supervisor: Eliane Kraus de Castro**

**Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil**

**Brasília, June of 2015**

Appropriate interventions, carried out at the right time, are an efficient way to interfere within the deterioration process of bridges' structures. This research aims to evaluate two methodologies for inspection of these structures applied in the prioritization of bridges' interventions: the first one is used by Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT; the second one is a methodology developed by Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília - PECC/UnB, called GDE/UnB. Throughout the research, 22 bridges were visually inspected and the collected data was applied into the evaluation of these structures using both methodologies. The results were analyzed and the formulation of the GDE/UnB methodology was adjusted to better suit application to a bridge management system. Later, an analysis of the incidence of different damages was made using the inspected structures. In conclusion, the GDE/UnB methodology and its proposed formulation showed better-calibrated results in comparison with the methodology used by DNIT, which made the prioritization process for intervention of structures easier.

**Keywords:** Bridges, Pathology, Inspection methodology, Structures.

## FICHA CATALOGRÁFICA

VERLY, ROGÉRIO CALAZANS

Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais [Distrito Federal] 2015.

xix, 178p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2015).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Obras de arte especiais

2. Patologia

3. Metodologia de inspeção

4. Estruturas

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Mestre)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Rogério Calazans Verly.

TÍTULO: Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais.

GRAU: Mestre

ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Rogério Calazans Verly

Rua 34 Sul, lotes 10/12, Bloco B, Apartamento 1202.

71930-500 Brasília/DF - Brasil.

rverly@gmail.com

rogerio.calazans@dnit.gov.br

*Dedico este trabalho à minha esposa, Dorenice, amiga  
e companheira de todos os momentos, e aos meus  
filhos, Pedro e Mateus.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus em primeiro lugar, por iluminar meu caminho.

Aos meus pais, Eliseu e Deolinda, pela criação e pelo exemplo de perseverança, integridade, amor e dedicação.

Agradeço à Universidade Federal de Viçosa - UFV, pela minha formação como engenheiro civil.

Ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, pela oportunidade de afastamento para dedicação integral ao trabalho desenvolvido no mestrado. Manifesto aqui um agradecimento especial ao saudoso engenheiro Eduardo Calheiros de Araújo, pela sua contagiante paixão pelas pontes e pelo enorme prazer que sempre demonstrou em compartilhar conosco os seus conhecimentos.

Aos amigos da Coordenação de Projetos de Estruturas, que não mediram esforços para me auxiliar durante todas as fases desta empreitada.

À Universidade de Brasília - UnB, pela oportunidade de aquisição de novos conhecimentos. Em particular agradeço aos professores Teatini, Nepomuceno, Eugênia, João Henrique, Michelle, Bauer e Rosa, pela paciência e dedicação durante as disciplinas que cursei.

Um agradecimento especial à professora Eliane e o amigo Plínio Boldo, responsáveis por me incentivar a fazer o mestrado.

Aos amigos do Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal - DER/DF, que não mediram esforços para que os trabalhos de campo se realizassem.

À minha esposa, pela amizade e apoio incondicional em todas as horas, e aos meus filhos, Pedro e Mateus, pelo apoio e compreensão.



*“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos”*

*Isaac Newton*

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVAÇÃO .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA .....	4
<b>2. GESTÃO DE OAES .....</b>	<b>6</b>
2.1 HISTÓRICO DA GESTÃO DE OAES .....	8
2.2 SISTEMAS DE GESTÃO DE OAES .....	10
2.3 ESTRUTURA BÁSICA DO SISTEMA DE GESTÃO DE OAES CONFORME A AASHTO .....	13
2.2.1. Banco de dados .....	14
2.2.2. Análise dos dados .....	15
2.2.3. Suporte à decisão .....	18
<b>3. INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE OAES.....</b>	<b>19</b>
3.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE INSPEÇÕES VISUAIS .....	19
3.2. METODOLOGIA ADOTADA PELO DNIT.....	22
3.2.1. Considerações iniciais.....	22
3.2.2. Inspeções no âmbito do SGO.....	25
3.2.3. Avaliação das OAES .....	29
3.3. METODOLOGIA GDE/UnB.....	30
3.3.1. Origens da metodologia .....	31
3.3.2. Formulação propostas por Fonseca (2007).....	32
3.3.3. Aplicação da metodologia GDE/UnB por Euqueres (2011).....	41
<b>4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OAES .....</b>	<b>44</b>
4.1. CONCEITOS RELACIONADA À PATOLOGIA DE ESTRUTURAS .....	44
4.2. DANOS EM OAES.....	46
4.2.1. Corrosão de armadura .....	47
4.2.2. Recalque de apoio .....	49
4.2.3. Sinais de esmagamento do concreto .....	51
4.2.4. Biodeterioração do concreto .....	53

4.2.5.	Falhas de concretagem.....	55
4.2.6.	Desagregação do concreto .....	56
<b>5.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>58</b>
5.1.	CONSIDERAÇÕES E AJUSTES DAS METODOLOGIAS .....	58
5.1.1.	Adaptações à metodologia GDE/UnB para inspeções rotineiras de OAEs .....	58
5.1.2.	Considerações sobre a metodologia do DNIT .....	60
5.1.3.	Considerações sobre juntas e aparelhos de apoio .....	61
5.2.	SELEÇÃO DAS OAEs PARA AS INSPEÇÕES .....	61
5.3.	INSPEÇÃO NAS OAEs SELECIONADAS.....	63
5.3.1.	Preparativos para as inspeções.....	63
5.3.2.	Procedimentos de inspeção .....	64
5.3.3.	Análise e consistência dos dados .....	65
5.4.	RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS .....	65
5.4.1.	Determinação da nota técnica pela metodologia SGO/DNIT.....	65
5.4.2.	Determinação do grau de deterioração das estruturas ( $G_d$ ) pela metodologia GDE/UnB.....	65
5.4.3.	Análise e avaliação da metodologia GDE/UnB.....	66
5.4.4.	Análise da incidência dos danos .....	66
<b>6.</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>67</b>
6.1.	RESULTADOS DA OAE-01 .....	68
6.1.1.	Resultados pela metodologia DNIT .....	68
6.1.2.	Resultados pela metodologia GDE/UnB .....	72
6.2.	RESULTADOS DAS DEMAIS OAEs .....	75
6.2.1.	Resultados da OAE-02.....	75
6.2.2.	Resultados da OAE-03.....	77
6.2.3.	Resultados da OAE-04.....	78
6.2.4.	Resultados da OAE-05.....	79
6.2.5.	Resultados da OAE-06.....	80
6.2.6.	Resultados da OAE-07.....	81
6.2.7.	Resultados da OAE-08.....	82
6.2.8.	Resultados da OAE-09.....	83
6.2.9.	Resultados da OAE-10.....	84

6.2.10.	Resultados da OAE-11.....	85
6.2.11.	Resultados da OAE-12.....	86
6.2.12.	Resultados da OAE-13.....	87
6.2.13.	Resultados da OAE-14.....	88
6.2.14.	Resultados da OAE-15.....	89
6.2.15.	Resultados da OAE-16.....	90
6.2.16.	Resultados da OAE-17.....	91
6.2.17.	Resultados da OAE-18.....	92
6.2.18.	Resultados da OAE-19.....	93
6.2.19.	Resultados da OAE-20.....	94
6.2.20.	Resultados da OAE-21.....	95
6.2.21.	Resultados da OAE-22.....	96
6.3.	INCIDÊNCIA DOS DANOS NAS OAEs .....	97
<b>7.</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>99</b>
7.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	99
7.2.	AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UnB PARA A CLASSIFICAÇÃO DE OAEs .....	99
7.3.	PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DA FORMULAÇÃO DO $G_d$ .....	101
7.4.	RELAÇÃO ENTRE A NOTA TÉCNICA E O GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA.....	107
7.5.	ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DOS DANOS NAS OAEs.....	110
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>113</b>
8.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	113
8.2.	CONCLUSÕES .....	114
8.3.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	116
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>117</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>121</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>144</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Desempenho ao longo do tempo (ABNT NBR 15575-1:2013) .....	6
Figura 2.2 - Sistemas estruturais utilizados nos projetos de OAEs. (a) PI celular na BR-060/GO; (b) Ponte estaiada sobre o rio Oiapoque na fronteira Brasil-Guiana Francesa BR-156/AP .....	7
Figura 2.3 - Recursos federais utilizados no programa de substituição ou reabilitação de pontes (adaptado de FHWA, 2012). .....	10
Figura 2.4 - Fluxo de atividades em um sistema de gestão de OAEs.....	14
Figura 2.5 - Curvas de degradação (adaptado de VAN DER TOORN, 1992; SHOHET et al., 1999).....	16
Figura 3.1 - Importância da inspeção visual mostrada em termos de informações obtidas e dos custos totais de inspeção (adaptado de CEB-FIB, 2002). .....	20
Figura 3.2 - Distribuição das avaliações, segundo a classificação NBI ( <i>National Bridge Inventory</i> ), obtidas para uma determinada OAE por 49 inspetores diferentes (Varela, 2007 apud ALMEIDA, 2013).....	22
Figura 3.3 - Contexto do SGO v3 (DNIT, 2004a).....	25
Figura 3.4 - Fluxograma para avaliação quantitativa (Adaptado de CASTRO, 1994) .....	33
Figura 3.5 - Grau do dano (D) x Fator de intensidade ( $F_i$ ) para valores de $F_p$ variando de 1 a 5 .....	38
Figura 4.1 - Conceitos gerais correlatos à patologia das construções (ANDRADE, 2005).45	
Figura 4.2 - Vista de um dos pilares da ponte, mostrando a deslocamento do concreto de cobertura provocado pela corrosão da armadura.....	47
Figura 4.3 - Pilar de viaduto com: (a) acúmulo de galhos e terra na base do pilar, e (b) deslocamento do concreto causado pela corrosão da armadura. ....	49
Figura 4.4 - Ponte com desalinhamento provocado por recalque de fundação: (a) vista longitudinal da estrutura mostrando o desalinhamento; (b) junta de dilatação do centro da ponte com abertura diferenciada dos dois lados.....	50
Figura 4.5 - Ponte com recalque de apoio no vão central: (a) vista longitudinal da estrutura mostrando o deslocamento vertical; (b) vista o trecho de acesso mostrando o desalinhamento da estrutura. ....	50
Figura 4.6 - Ponte em arco: (a) vista da ligação entre o arco triarticulado e o apoio; (b) detalhe da articulação de chumbo.....	51

Figura 4.7 - Fissura causada por concentração de tensões no topo do pilar: (a) fissura no topo do pilar; (b) esquema longitudinal de uma articulação Freyssinet (DNIT, 2004b).....	52
Figura 4.8 - Deslocamento da superestrutura em relação à mesoestrutura: (a) detalhe do topo do pilar rompido por concentração de tensões; (b) vista inferior do local mostrando o local original do aparelho de apoio.....	53
Figura 4.9 - Manchas no concreto: (a) junta de dilatação com selante danificado; (b) dreno descarregando água ao longo da altura da viga. ....	54
Figura 4.10 - Falhas de concretagem: (a) falha de concretagem e fissura transversal ao longo de toda a altura da viga; (b) luva obstruindo a passagem do concreto.....	55
Figura 4.11 - Disgregação do concreto: (a) vista inferior da laje com partes íntegras do concreto soltas; (b) vista superior do local. ....	56
Figura 5.1 - Fluxograma da metodologia adotada neste estudo. ....	58
Figura 5.2 - Elementos encobertos: (a) aparelho de apoio coberto por concreto; (b) junta cobertas pelo pavimento. ....	61
Figura 5.3 - Interdição de faixa de tráfego por Agentes de Trânsito do DER/DF.....	63
Figura 6.1 - Vista da OAE-01, viaduto em curva sobre a BR-450/DF.....	68
Figura 6.2 - Ficha de dados cadastrais da OAE-01 .....	69
Figura 6.3 - Ficha de inspeção rotineira da OAE-01 .....	70
Figura 6.4 - Danos na laje e na viga da OAE-01. (a) Mancha, fissura e eflorescência na laje; (b) falha de concretagem deixando a armadura da viga sem cobrimento.....	71
Figura 6.5 - Danos detectados na laje e na barreira da OAE-01. (a) Fissura na laje; (b) Fissura na barreira New Jersey. ....	71
Figura 6.6 - Detalhe da região onde foram encontrados os danos no pilar P1. (a) Falha de concretagem (perda de nata de cimento) e (b) fissura de assentamento plástico. ....	73
Figura 6.7 - Croqui com a seção transversal da OAE-02 após o alargamento (sem escala). ....	75
Figura 6.8 - OAE-02 (a) vista da entrada da ponte e (b) vista lateral.....	76
Figura 6.9 - Croqui com a seção transversal da OAE-03 após o alargamento (sem escala). ....	77
Figura 6.10 - OAE-03 (a) vista da ponte, no sentido crescente da pista e contrário ao fluxo de veículos, e (b) vista inferior do encontro. ....	77
Figura 6.11 - Vista da OAE-04, viaduto em curva sobre a BR-450/DF.....	78
Figura 6.12 - Vista da OAE-05, viaduto em curva sobre a BR-450/DF.....	79

Figura 6.13 - OAE-06 (a) croqui com a seção transversal da OAE-06 após o alargamento (sem escala), e (b) vista da ponte, no sentido crescente da pista. ....	80
Figura 6.14 - Croqui com a seção transversal da OAE-07 após o alargamento (sem escala). .....	81
Figura 6.15 - OAE-07 (a) vista superior no sentido decrescente da pista, e (b) vista da lateral esquerda da ponte. ....	82
Figura 6.16 - Vista lateral da OAE-08, superestrutura em laje apoiada diretamente sobre pilares parede. ....	83
Figura 6.17 - Vista lateral da OAE-09, superestrutura em laje apoiada diretamente sobre pilares parede. ....	84
Figura 6.18 - Vista lateral da OAE-10, superestrutura em laje apoiada diretamente sobre pilares parede. ....	85
Figura 6.19 - Vista lateral da OAE-11, superestrutura em laje apoiada diretamente sobre pilares parede. ....	86
Figura 6.20 - Vista lateral da OAE-12, superestrutura em laje apoiada diretamente sobre pilares parede. ....	87
Figura 6.21 - Vista lateral da OAE-13, superestrutura em laje apoiada diretamente sobre pilares parede. ....	88
Figura 6.22 - Vista lateral da OAE-14, superestrutura em vigas pré-moldadas em travessas de concreto. ....	89
Figura 6.23 - Vista lateral da OAE-15, superestrutura em vigas pré-moldadas apoiadas em travessas de concreto. ....	90
Figura 6.24 - Vista lateral da OAE-16, superestrutura em laje de concreto apoiada diretamente em pilares parede. ....	91
Figura 6.25 - Vista lateral da OAE-17, superestrutura em laje de concreto apoiada diretamente em pilares parede. ....	92
Figura 6.26 - Vista lateral da OAE-18, superestrutura em laje de concreto. ....	93
Figura 6.27 - Vista lateral da OAE-19, superestrutura em vigas pré-moldadas. ....	94
Figura 6.28 - Vista lateral da OAE-20, superestrutura em vigas pré-moldadas. ....	95
Figura 6.29 - Vista lateral da OAE-21, superestrutura em vigas pré-moldadas. ....	96
Figura 6.30 - Vista lateral da OAE-22, superestrutura em vigas pré-moldadas. ....	97

Figura 7.1 - Superposição dos valores obtidos para os graus de deterioração da estrutura calculados considerando todos os valores de $G_{de}$ diferentes de zero ( $G_d^*$ ) e considerando apenas valores de $G_{de}$ maiores que 15 ( $G_d$ ). .....	99
Figura 7.2 - Danos encontrados nos pilares da OAE-05: (a) deslocamento no pilar P8 sem a exposição da armadura, e (b) corrosão de barra longitudinal do pilar e deslocamento do concreto do pilar P10.....	100
Figura 7.3 - Superposição dos valores obtidos para os graus de deterioração da estrutura calculados: com a formulação proposta considerando todos os valores de $G_{de}$ diferentes de zero ( $G_{d,mod}^*$ ); com a formulação proposta apenas valores de $G_{de} \geq 15$ ( $G_{d,mod}$ ); e com a equação de Castro (1994) ( $G_d$ ). .....	105
Figura 7.4 - Fluxo de cálculo do grau de deterioração da estrutura. ....	106
Figura 7.5 - Superposição dos valores obtidos para os graus de deterioração da estrutura calculados, com a formulação proposta, com os valores das notas técnicas obtidos pela metodologia do DNIT.....	107
Figura 7.6 - Incidência dos valores de NT obtidos na avaliação das 22 OAEs pelo mesmo inspetor .....	109
Figura 7.7 - Registros de incidência de danos nas 22 OAEs, e os respectivos percentuais entre parênteses, divididos por tipo. ....	110



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Recentes colapsos de OAEs e sua natureza (KHAN, 2010; ALMEIDA, 2013) .....	9
Tabela 2.2 - Comparação de alguns sistemas de gestão de OAEs (adaptado de ALMEIDA, 2013).....	11
Tabela 3.1 - Tipos de inspeções em OAEs (adaptado de ALMEIDA, 2013).....	20
Tabela 3.2 - Exemplos de elementos padrões (adaptado de DNIT, 2004a) .....	23
Tabela 3.3 - Notas técnicas e os critérios para sua atribuição (DNIT, 2004a) .....	29
Tabela 3.4 - Fatores de relevância estrutural ( $F_r$ ) das diversas famílias de elementos estruturais (adaptado de FONSECA, 2007) .....	34
Tabela 3.5 - Modelo de ficha de inspeção para pilares (adaptado de EUQUERES, 2011). 35	
Tabela 3.6: Valores de $F_p$ sugeridos em função da tipologia das fissuras (adaptado de Fonseca (2007). .....	35
Tabela 3.7 - Exemplos de Fatores de intensidade ( $F_i$ ) recomendados (adaptado de FONSECA, 2011).....	36
Tabela 3.8 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento pela metodologia GDE/UnB (FONSECA, 2007) .....	39
Tabela 3.9 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura pela metodologia GDE/UnB (FONSECA, 2007) .....	41
Tabela 3.10 - Fatores de relevância estrutural ( $F_r$ ) (EUQUERES, 2011).....	41
Tabela 3.11 - Nível de deterioração do elemento e as recomendações de ações em função do valor de $G_{de}$ (EUQUERES, 2011) .....	42
Tabela 3.12 - Nível de deterioração do elemento e as recomendações de ações em função do valor de $G_d$ (EUQUERES, 2011) .....	42
Tabela 5.1 - Relação das OAEs selecionadas para inspeção com a indicação do código adotado, a rodovia ou a via e as coordenadas cartográficas S (sul) e O (oeste) .....	62
Tabela 6.1 - Resultados experimentais pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	67
Tabela 6.2 - Resultado do cálculo do $G_d$ para a OAE-01 pela metodologia GDE/UnB .....	72
Tabela 6.3 - Resultados dos cálculos dos valores de grau do dano (D) para o pilar P1 da OAE-01.....	72
Tabela 6.4 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-02 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	76

Tabela 6.5 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-03 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	78
Tabela 6.6 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-04 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	79
Tabela 6.7 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-05 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	80
Tabela 6.8 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-06 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	81
Tabela 6.9 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-07 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	82
Tabela 6.10 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-08 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	83
Tabela 6.11 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-09 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	84
Tabela 6.12 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-10 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	85
Tabela 6.13 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-11 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	86
Tabela 6.14 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-12 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	87
Tabela 6.15 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-13 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	88
Tabela 6.16 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-14 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	89
Tabela 6.17 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-15 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	90
Tabela 6.18 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-16 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	91
Tabela 6.19 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-17 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	92
Tabela 6.20 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-18 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	93

Tabela 6.21 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-19 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	94
Tabela 6.22 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-20 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	95
Tabela 6.23 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-21 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	96
Tabela 6.24 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-22 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB .....	97
Tabela 6.25 - Contagem dos danos encontrados nas 22 OAEs inspecionadas divididos por via. ....	98
Tabela 7.1 - Resultados da avaliação pela metodologia do DNIT e pela metodologia GDE/UnB - considerando a formulação modificada do grau de deterioração da estrutura ( $G_{d,mod}$ e $G_{d,mod}^*$ ) e a equação proposta por Castro (1994) para o cálculo de $G_d$ . ....	104
Tabela 7.2 - Incidência das fissuras nas diferentes famílias de elementos estruturais por fator de ponderação. ....	111
Tabela 7.3 - Incidência das falhas de concretagem nas diferentes famílias de elementos estruturais por fator de intensidade.....	112

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
D	Grau do dano
DER/DF	Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
$F_i$	Fator de intensidade do dano
$F_p$	Fator de ponderação do dano
$F_r$	Fator de relevância estrutural do elemento
$G_d$	Grau de deterioração da estrutura, considerando apenas valores de $G_{de}$ maiores ou iguais a 15
$G_{d,mod}$	Grau de deterioração da estrutura modificado, considerando apenas valores de $G_{de} \geq 15$
$G_{d,mod}^*$	Grau de deterioração da estrutura modificado, considerando todos os valores de $G_{de}$
$G_d^*$	Grau de deterioração da estrutura, considerando todos os valores de $G_{de}$
$G_{de}$	Grau de deterioração do elemento
$G_{df}$	Grau de deterioração de uma família de elementos, considerando apenas valores de $G_{de} \geq 15$
$G_{df}^*$	Grau de deterioração de uma família de elementos, considerando todos os valores de $G_{de}$
ICC	Instituto Central de Ciências da UnB
K	Grau de deterioração da família majorado
k	Número de famílias da estrutura
m	Número de elementos de uma família com $G_{de} \geq 15$
n	Número de danos encontrado em um elemento
OAE	Obra de arte especial
SGO	Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais
VMD	Volume Médio Diário de Tráfego
VU	Vida útil
VUP	Vida útil de projeto

# 1. INTRODUÇÃO

As pontes e os viadutos são elementos fundamentais da infraestrutura de um país, servindo como suporte para rodovias, ferrovias, hidrovias, dutos de transporte de fluidos, e até mesmo para estruturas dedicadas à passagem de pedestres, sendo estas conhecidas apenas como passarelas.

Uma grande parcela dos insumos produzidos por um país não podem ser transportados por dutos, dessa forma o seu transporte deve ser feito pelos modais rodoviário, ferroviário ou hidroviário. O Brasil dispõe de uma grande extensão de rios navegáveis, cerca de 42.000 km<sup>1</sup>, e a interligação entre as hidrovias é feita pelos modais rodoviário e ferroviário.

Além do transporte de cargas, a civilização global é altamente dependente de automóveis e do sistema de transporte público, seja para sua locomoção diária de casa para o trabalho, seja para o transporte em atividades de lazer. A título de exemplo, nos Estados Unidos existem perto de um milhão de pontes e viadutos rodoviários e ferroviários, incluindo passarelas, pequenas pontes e bueiros (KHAN, 2010). No Brasil pontes, viadutos, passarelas e túneis são denominados Obras de Arte Especiais - OAEs, e são contabilizados separadamente das outras estruturas existentes nas vias, como os bueiros celulares.

Como ocorre em todas as estruturas existentes, os materiais constituintes das OAEs se degradam com o tempo, implicando em alterações nas suas propriedades e no seu desempenho, podendo culminar em uma situação onde a estrutura não seja mais compatível com as condições consideradas na fase de projeto. Caso não haja uma intervenção adequada no prazo correto, a estrutura atingirá uma situação em que a limitação do carregamento ou a sua completa interdição serão as únicas alternativas.

Tanto a interdição quanto a imposição de restrições de carga implica em transtornos aos usuários da via, que não se restringem a atrasos em compromissos pessoais e a desvios necessários em caso de interdição ou limitações ao tráfego. Dependendo da carga transportada, o atraso pode implicar até mesmo na sua total inutilização. Segundo Barone e Frangopol (2014), os custos associados a falhas da estrutura podem ser diretos ou indiretos. Os diretos são associados ao custo de recuperação do elemento ou da estrutura como um todo ou mesmo de sua substituição. Os custos indiretos são mais difíceis de serem

---

<sup>1</sup> Dado obtido de [www.dnit.gov.br](http://www.dnit.gov.br), acesso em 15 de setembro de 2014.

mensurados, uma vez que não se limitam a aspectos econômicos, devendo ser levados em consideração a segurança dos usuários e os danos ambientais.

Para a determinação das intervenções adequadas em obras de arte especiais e os prazos corretos, podem ser utilizados sistemas de gestão de OAEs. Esses sistemas podem ser mais simples, compostos apenas por um banco de dados, ou mais completos, que utilizam modelos de deterioração para avaliar a situação futura da estrutura e determinar a melhor possibilidade de alocação de recursos. Assim, um sistema de gestão de OAEs é uma ferramenta efetiva de alocação de recursos limitados em atividades relacionadas a OAEs. (AASHTO, 2013; SMITH e SILVA FILHO, 1999)

Dentre os dados que alimentam os sistemas de gestão de OAEs, estão as informações oriundas de inspeções rotineiras, que podem ser realizadas de acordo com diferentes metodologias.

## **1.1 MOTIVAÇÃO**

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT tem sob sua responsabilidade a administração de aproximadamente seis mil OAEs, não computados neste número os túneis e as passarelas de pedestres, e para a gestão desse patrimônio utiliza o Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais, ao qual foi atribuída a sigla SGO.

O SGO conta com vários módulos de auxílio à tomada de decisão pelos gestores e é alimentado com informações referentes à passagem de cargas indivisíveis, também conhecidas como cargas especiais, condições de estabilidade e de conservação da estrutura. As duas últimas informações são provenientes de inspeções rotineiras, nas quais são atribuídas notas aos elementos estruturais e, com base nas notas dos seus elementos, a estrutura recebe uma nota global. Tanto as notas dos elementos quanto a da estrutura variam de um a cinco (DNIT, 2004c).

Como a metodologia utilizada pelo DNIT<sup>2</sup> classifica as estruturas em cinco condições de estabilidade diferentes, em um estoque muito numeroso de estruturas, certamente haverá um significativo número de OAEs classificadas em uma mesma condição de estabilidade. Em uma situação de limitação de recursos, surge a necessidade de priorização das

---

<sup>2</sup> Aqui definida como SGO/DNIT.

estruturas com relação às intervenções a serem realizadas. Nesse caso, o único critério de priorização utilizado pelo SGO é a comparação entre os Volumes Médios Diários - VMDs. Esse critério de priorização entre estruturas de mesma nota técnica seria superado no caso de OAEs localizadas no mesmo segmento, ou seja, com mesmo VMD.

A metodologia GDE/UnB de inspeção de estruturas de concreto armado está inserida na linha de pesquisa *Patologia, Recuperação, Manutenção e Reforço de Estruturas e Edificações*, do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília - PECC/UnB, e aborda a avaliação do estado de conservação de estruturas de concreto armado e protendido.

Desenvolvida por Castro em 1994, a metodologia GDE/UnB foi sucessivamente aperfeiçoada dentro do PECC/UnB por Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007), sendo aplicada a estruturas de edificações com diversas finalidades de uso. Em 2011, Euqeres adequou e aplicou a metodologia na avaliação de OAEs no estado de Goiás.

Assim como a metodologia SGO/DNIT, a metodologia GDE/UnB fornece como resultado um número. Entretanto, esse número pode variar de 1 a 282,8, ou seja, uma faixa de valores muito mais abrangente que as cinco opções possíveis na metodologia SGO/DNIT.

Devido às suas características, a metodologia GDE/UnB se apresenta como uma opção para a inspeção e priorização de OAEs rodoviárias.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a metodologia GDE/UnB como alternativa à metodologia atualmente usada pelo DNIT para alimentação do SGO, para um maior escalonamento dos resultados. Essa avaliação foi realizada em OAEs rodoviárias localizadas na região metropolitana de Brasília.

Como objetivos específicos foram enumerados:

- Ajustar a metodologia GDE/UnB para aplicação em inspeções rotineiras de OAEs rodoviárias;
- Inspeccionar 22 OAEs situadas na região metropolitana de Brasília pelas metodologias GDE/UnB e SGO/DNIT;
- Avaliar a formulação da metodologia GDE/UnB para a classificação de OAEs;

- Com base no *Roteiro de inspeção em estruturas de concreto armado* (FONSECA, 2007) e no *Roteiro de inspeção de pontes de concreto armado* (EUQUERES, 2011), elaborar o *Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB a OAEs*; e
- Avaliar a incidência dos danos nas OAEs inspecionadas.

### 1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

Além do capítulo inicial, o trabalho consta de sete capítulos.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a gestão de OAEs, mostrando inicialmente um breve histórico, desde o acidente que motivou o início de um grande programa de inspeção de OAEs nos Estados Unidos, passando por sua evolução até os sistemas modernos de gestão de OAEs. São apresentados alguns dos principais sistemas de gestão e a estrutura básica recomendada pela *American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO*.

O capítulo 3 se dedica à revisão sobre a inspeção e avaliação de estruturas de OAEs, com foco nas duas metodologias estudadas nesta pesquisa: GDE/UnB e DNIT.

O objetivo do capítulo 4 é apresentar alguns dos termos mais correntemente utilizados em patologia de estruturas bem como apresentar alguns exemplos de manifestações patológicas encontradas com frequência em OAEs.

O capítulo 5 descreve o programa experimental, envolvendo a inspeção e avaliação de 22 OAEs localizadas na região metropolitana de Brasília. São descritas as adequações das duas metodologias estudadas nesta pesquisa para sua aplicação em inspeções rotineiras de OAEs.

No capítulo 6 são apresentados os resultados da inspeção e avaliação das 22 OAEs pelas metodologias GDE/UnB e DNIT. São apresentadas também neste capítulo a quantificação dos danos encontrados durante as vistorias.

O capítulo 7 se propõe a analisar os resultados obtidos pelas duas metodologias, buscando identificar aquela que melhor se enquadra na priorização de aplicação de recursos para intervenções. Ainda neste capítulo é proposta uma nova fórmula para o cálculo do *grau de deterioração da estrutura* ( $G_d$ ), e são feitas algumas considerações sobre os danos mais frequentes nas 22 OAEs inspecionadas.



No capítulo 8 são apresentadas as conclusões deste estudo e sugestões para trabalhos futuros.

As referências bibliográficas e os apêndices, com a listagem dos danos identificados durante as inspeções e o *Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB a OAEs*, são apresentados na sequência.

## 2. GESTÃO DE OAEs

A gestão de OAEs é tão antiga quanto a própria existência dessas estruturas, e tem como seu principal objetivo a garantia de um determinado nível de segurança e funcionalidade ao longo de sua vida útil (ALMEIDA, 2003). A NBR 15575-1:2013<sup>3</sup> define como vida útil (VU) o “período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos considerando a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção [...]” sendo que o valor real da vida útil “será uma composição do valor teórico da vida útil de projeto (VUP) devidamente influenciado pelas ações da manutenção, da utilização, da natureza e da sua vizinhança”. A Figura 2.1 mostra como a manutenção programada interfere no desempenho da estrutura para que esta alcance sua vida útil de projeto.

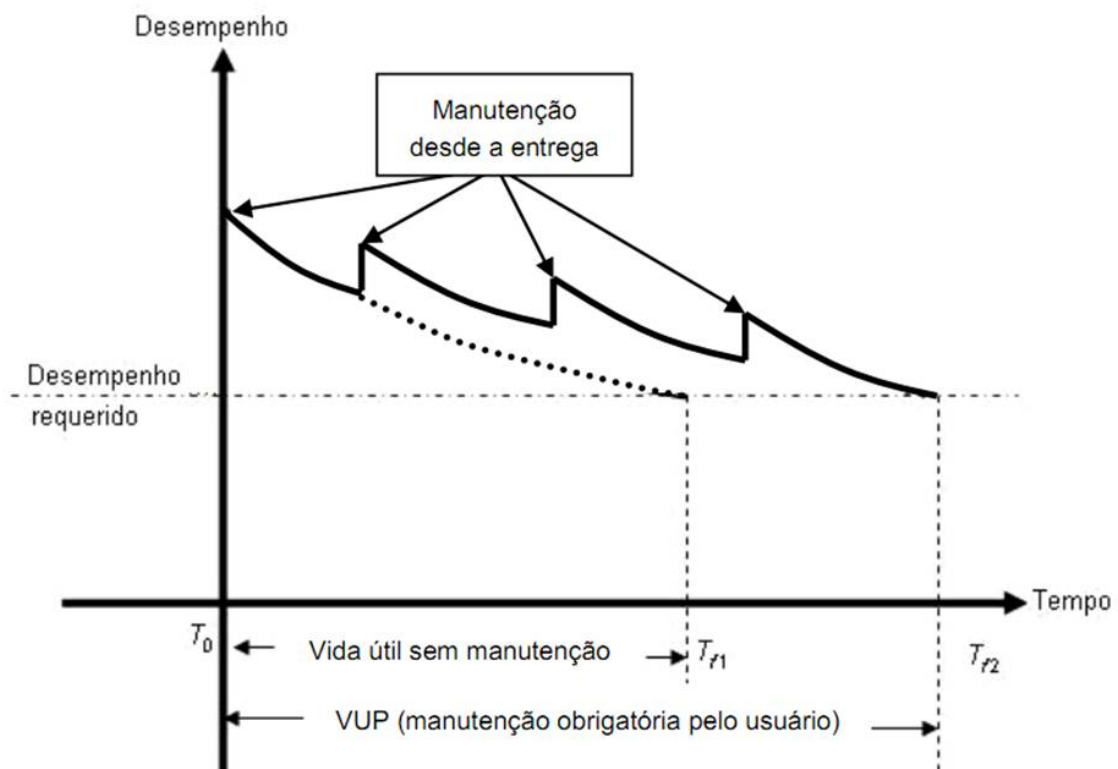


Figura 2.1 - Desempenho ao longo do tempo (ABNT NBR 15575-1:2013)

A norma NBR 6118:2014 apresenta a definição de vida útil de projeto (VUP) como sendo o “período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção

<sup>3</sup> A norma NBR 15575-1:2013 trata de edificações habitacionais e de seus sistemas, dentre eles os sistemas estruturais, sendo portanto o conceito apresentado perfeitamente aplicável a estruturas de OAEs.

prescritos pelo projetista e pelo construtor”. Tanto para a VU quanto para VUP, a definição é válida para a estrutura como um todo e para suas partes, que podem ter vidas úteis diferentes. Mesmo se tratando de uma prescritiva (NBR 6118:2014) e de uma norma de desempenho (NBR 15575-1:2013) os conceitos de vida útil se equivalem.

De acordo com Hyall (2010), o grau de degradação de uma estrutura ao longo de sua vida útil é afetado por muitos fatores, como a geometria da estrutura, materiais empregados na construção, qualidade da construção, concepção e detalhamento da estrutura, ação do fogo, terremotos, natureza e intensidade do tráfego, etc.

Os projetistas de Obras de Arte Especiais - OAEs, lançam mão de sistemas estruturais diferentes, escolhidos de acordo com as características do obstáculo a ser vencido. Esses sistemas podem ser mais simples, como passagens inferiores (PIs) celulares (Figura 2.2 (a)), ou sistemas mais complexos, como as pontes estaiadas (Figura 2.2 (b)). As primeiras são constituídas por uma células apoiadas diretamente sobre o terreno de suporte e não possuem juntas ou aparelhos de apoio. Todos os seus elementos, assim, são produzidos com os mesmos materiais e conseqüentemente a vida útil dos seus elementos é aproximadamente a mesma.



Figura 2.2 - Sistemas estruturais utilizados nos projetos de OAEs. (a) PI celular na BR-060/GO; (b) Ponte estaiada sobre o rio Oiapoque na fronteira Brasil-Guiana Francesa BR-156/AP

A estrutura estaiada tem o seu tabuleiro suportado por cabos conhecidos como estais. Muito útil quando não é viável ou não se deseja executar fundações ao longo do obstáculo a ser vencido, esse sistema estrutural utiliza ancoragens robustas para os estais, juntas e aparelhos de apoio que permitem grandes movimentações. Esses elementos possuem vida

útil menor que a do concreto e a sua falha pode comprometer o desempenho do restante da estrutura, podendo provocar inclusive seu colapso.

Esses dois exemplos retratam a diversidade de sistemas e materiais que são empregados nas OAEs, bem como as diferentes exigências que são demandadas por cada estrutura para que cumpra a sua vida útil. De acordo com Hyall (2010), a gestão de OAEs é o meio pelo qual um estoque de OAEs é cuidado desde a sua concepção até o fim da sua vida útil.

Este capítulo tem como objetivo apresentar um breve histórico dos sistemas de gestão de OAEs, elencando os principais sistemas em uso no mundo. Como os sistemas possuem características peculiares em função do seu país de origem, elencou-se para uma descrição sucinta a estrutura apresentada em *The manual for bridge evaluation* da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 2013).

## **2.1 HISTÓRICO DA GESTÃO DE OAEs**

No passado, muitos acreditavam que as estruturas de concreto armado eram imunes à degradação, mesmo quando executadas sem cuidados especiais e expostas a ambientes agressivos. Com o aparecimento de grande quantidade de casos de degradação acelerada de estruturas de concreto armado e protendido na década de 1980, os riscos à segurança e os elevados custos de manutenção fizeram com que a atenção se voltasse para os cuidados com a execução e a posterior manutenção das estruturas de concreto (BERTOLINI, 2010).

No caso das OAEs esse alerta foi dado um pouco antes. Durante as décadas de 1950 e 1960 houve um considerável aumento no número de pontes construídas nos Estados Unidos, e na oportunidade foi dada pouca ênfase às inspeções e à manutenção dessas estruturas, que em sua grande maioria utiliza o concreto como material de construção. A preocupação com a inspeção e manutenção das OAEs se tornou prioridade no ano de 1967, quando o colapso da *Silver Bridge*, ocorrido no horário de pico do trânsito, matou 46 pessoas. Essa tragédia motivou a criação de um programa de inspeções de pontes e de um igualmente importante programa de treinamento de inspetores, os quais seguem em constante atualização até os dias de hoje (FHWA, 2012).

No Brasil, os requisitos para a qualificação de inspetores de estruturas é objeto da norma NBR 16230:2013. Essa norma define quais profissionais estão capacitados a realizar este

serviço e padroniza os requisitos que devem ser cumpridos pelo profissional para que possa emitir os laudos sobre as estruturas de concreto.

Acidentes como o de 1967 ainda ocorrem nos dias atuais, provocando grande impacto sobre a sociedade em geral, uma vez que, junto com os prejuízos financeiros, podem vir acompanhados de perdas de vidas humanas. Colapsos, como os mostrados na Tabela 2.1, acabam por instigar esforços no sentido do desenvolvimento da área de gestão de OAEs.

Tabela 2.1 - Recentes colapsos de OAEs e sua natureza (KHAN, 2010; ALMEIDA, 2013)

Ano	País	OAE	Mortes	Causa provável
1967	EUA	Silver Bridge	46	Seção insuficiente e corrosão
2001	Portugal	Ponte Hintze Ribeiro	59	Infraescavação
2006	Canadá	PS <i>Concorde Boulevard</i>	5	Ruptura por corte em um apoio
2007	EUA	Ponte Mineapolis I-35W	12	Capacidade resistente insuficiente
2007	Paquistão	Ponte Shershah (Karachi)	10	Não apresentado. Ponte em serviço há menos de duas semanas.
2012	China	Viaduto de acesso à ponte Yangmingtan, sobre o rio Songhua		Subdimensionamento
2013	EUA-Canadá	Ponte I-5 sobre o rio Skagit		Impacto de um veículo pesado

A gestão das OAEs não termina no momento em que a estrutura entra em serviço, e requer a manipulação de muitas informações simultaneamente. Devido ao grande número de OAEs existentes nos Estados Unidos e aos avanços na área de informática, a FHWA promoveu em 1991 o desenvolvimento de um sistema de gestão de OAEs chamado *Pontis*<sup>4</sup>. Esse sistema tem a característica de permitir adequações às diversas agências e organizações responsáveis pela manutenção de redes de pontes.

A implementação de um programa de inspeções tornou possível o conhecimento das necessidades de cada estrutura da malha, mostrando a necessidade do aumento dos recursos financeiros alocados para a manutenção, reparo e a reabilitação das OAEs. No início da década de 1990, esses recursos eram obtidos de fontes federais e estaduais, mas eram limitados, o que tornou necessária a imposição de regras para a sua liberação. A partir do ano de 1995, para se candidatar aos recursos reservados para as OAEs, cada estado norte-americano deveria ter implantado um sistema de gestão de pontes. Essa

<sup>4</sup> Esse sistema é atualmente designado por ASHTOWare<sup>TM</sup> Bridge Management Software (<<http://aashtowarebridge.com>> acesso em 28/07/2015).

exigência foi suspensa em 1998, no entanto muitos estados optaram por continuar a implantação do sistema *Pontis* e a trabalhar no seu desenvolvimento, melhorando suas características de flexibilidade e adaptabilidade. (FHWA, 2012)

A variação dos recursos federais destinados à substituição ou reabilitação de OAEs nos Estados Unidos ao longo dos anos é mostrada na Figura 2.3. O montante vem aumentando com o passar dos anos, sendo que no período compreendido entre 1987 e 1991 o total investido foi de \$8,13 bilhões e no próximo período (1992 a 1997) foi de \$16,10 bilhões, correspondendo a um aumento de 98% em relação ao período anterior. Esse aumento expressivo coincide com o início da implantação dos sistemas *Pontis*, que se deu no início do que foi chamada de *década dos sistemas de gestão de pontes* (FHWA, 2012).

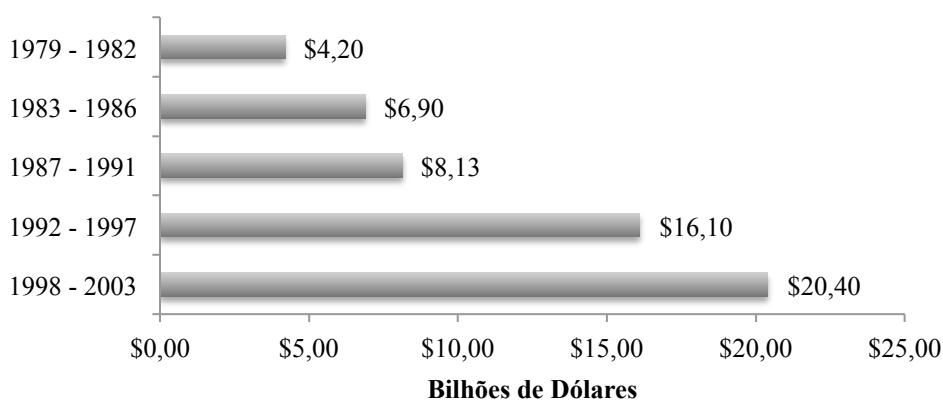


Figura 2.3 - Recursos federais utilizados no programa de substituição ou reabilitação de pontes (adaptado de FHWA, 2012).

Os sistemas de gestão de OAEs não se limitaram aos Estados Unidos, tendo sido criados diversos sistemas pelo mundo, cada um com suas particularidades. O próximo item se dedica a apresentar uma visão geral acerca dos sistemas de gestão de OAEs.

## 2.2 SISTEMAS DE GESTÃO DE OAEs

O grande volume de dados manipulados na gestão de OAEs e a disponibilidade de ferramentas computacionais levou muitos gestores a apostarem nos sistemas de gestão informatizados, como o *Pontis*, já mencionado no item anterior. O reconhecimento da necessidade de implementação de ferramentas de auxílio à tomada de decisão, se reflete no grande número de sistemas de gestão de OAEs desenvolvidos em diversos países.

Cada sistema possui suas particularidades, refletidas pelas metodologias e competências bem diversificadas. Almeida (2013) relacionou 18 sistemas de gestão de OAEs com diferentes características (Tabela 2.2). Embora as particularidades dos sistemas de gestão de OAEs não sejam discutidas no presente trabalho, a Tabela 2.2 fornece uma visão global da diversidade de abordagens e características desses sistemas. O primeiro item de grande variabilidade é o Estado de Condição - EC. De acordo com Almeida (2013), o EC é baseado em uma escala qualitativa simples relacionada com os danos identificados, e pode ser associado à estrutura como um todo ou aos seus componentes. Como será visto nos itens 3.2 e 3.3, o EC para a metodologia GDE/UnB é o *grau de deterioração da estrutura* e para a metodologia SGO/DNIT é a *nota técnica*. O valor de EC é expresso em porcentagem ou tem entre quatro e seis níveis diferenciados.

Tabela 2.2 - Comparação de alguns sistemas de gestão de OAEs (adaptado de ALMEIDA, 2013).

Designação	País	Avaliação		Previsão		Prazo de programação	
		Capacidade de carga	EC (níveis)	Degradação	Custos	Trabalhos (anos)	Orçamento (anos)
OBMS	Canadá	✓	4	Probabilística	✓	10	60
QBMS	Canadá	✓	4	Probabilística	✓	10	60
DANBRO	Dinamarca		6		✓	10	10
FBMS	Finlândia		4	✓	✓	10	10
GBMS	Alemanha			✓	✓	10	10
Eirspan	Irlanda		4			10	10
APTBMS	Itália	✓	5	Probabilística	✓	5	50
RPIBMS	Japão		5	✓		100	100
KRBMS	Coreia		5				
Lat Brutus	Letônia	✓	4		✓		
DISK	Holanda		6		✓	10	10
SMOK	Polônia		6			10	10
SZOK	Polônia		6		✓	10	10
SGP	Espanha	✓	100		✓		
BaTMan	Suécia	✓	3	Determinística	✓	20	20
KUBA	Suíça		5	Probabilística	✓	5	100
ABMS	EUA	✓	9		✓	5	5
Pontis	EUA	✓		Probabilística	✓		

Mesmo sendo baseado nos danos identificados, o EC pode não ser um indicador direto de segurança de uma OAE. Nos casos em que se justifique, deve ser realizada uma avaliação

da segurança da estrutura. No âmbito do DNIT, um dos casos em que a análise estrutural se justifica é quando surge a necessidade de transporte de cargas indivisíveis e excedentes em peso, como ocorre com alguns modelos de transformadores, peças de hidrelétricas ou qualquer carga unitária representada por uma única peça estrutural ou por um conjunto de peças fixadas por rebiteagem, solda ou outro processo. De acordo com a Resolução Nº 11 (DNIT, 2004d), o transporte desse tipo de equipamento pode ser feito após a emissão de uma Autorização Especial de Transito - AET. A depender dos equipamentos utilizados e do Peso Bruto Total - PBT<sup>5</sup>, uma das exigências para a emissão da referida autorização é que seja feita a verificação estrutural das OAEs que serão transpostas pela carga. Os sistemas relacionados na Tabela 2.2 que consideram a capacidade de carga da estrutura estão identificados pela marca “✓”.

Alguns dos sistemas utilizam modelos para a previsão da degradação da estrutura. Nos 18 sistemas relacionados podem ser identificadas quatro situações: modelo probabilístico, modelo determinístico, modelo não identificado (✓) e os que estão em branco, que não preveem a previsão da degradação.

Os custos também são considerados em alguns dos sistemas de gestão de OAEs. Entretanto, os sistemas não consideram os mesmos tipos de custos, que podem ser divididos em cinco tipos: de inspeção, de intervenção, de atraso de tráfego, indiretos para os utilizadores e de ciclo de vida (ALMEIDA, 2013).

Os prazos de programação também são considerados de forma bem distinta pelos diferentes sistemas. Os períodos de tempo associados ao planejamento dos trabalhos a serem realizados podem variar de 5 anos a 100 anos, e os períodos de tempo associados à definição das políticas de manutenção, e conseqüente previsão das necessidades orçamentárias, podem variar de 5 anos até um prazo indeterminado, como é o caso do *Pontis*.

A diversidade de abordagens e de metodologias utilizadas pelos sistemas, notadamente os relacionados na Tabela 2.2, indica que não há um caminho consensual a ser seguido pela gestão de redes de OAEs (ALMEIDA, 2013).

Os sistemas de gestão de OAEs evoluem à medida que os recursos computacionais e as exigências por parte dos gestores aumentam. Inicialmente, esses sistemas foram

---

<sup>5</sup> O PBT é a soma dos pesos do veículo e da carga.



desenvolvidos com base no conhecimento acumulado em outros sistemas de gestão de infraestrutura, especialmente os sistemas de gestão de pavimentos. Um certo padrão evolutivo pode ser identificado nos sistemas de gestão de OAEs, os quais podem ser divididos em quatro gerações (SMITH e SILVA FILHO, 1999).

A primeira geração de sistemas consiste de uma interface simples com um banco de dados com a possibilidade de acesso rápido às características da estrutura e aos dados obtidos durante as inspeções. Com a segunda geração, as informações contidas no banco passaram a ser manipuladas, possibilitando a definição de uma escala de prioridades para intervenção. Dessa forma, os sistemas deixaram de ser apenas um mero banco de dados e se tornaram uma ferramenta de suporte à decisão. De forma a possibilitar a utilização do potencial dos sofisticados modelos de deterioração, e a pressão pela necessidade de lidar de uma forma mais realista com o problema da manutenção, surgiu a terceira geração de sistemas.

Smith e Silva Filho (1999) apontam a necessidade de mais pesquisas na área e continuidade do desenvolvimento de novos sistemas, sugerindo a definição de um formato para a quarta geração de sistemas.

### **2.3 ESTRUTURA BÁSICA DO SISTEMA DE GESTÃO DE OAEs CONFORME A AASHTO**

Conforme visto no item anterior, há uma grande diversidade de sistemas de gestão de OAEs, os quais foram desenvolvidos conforme demandas específicas. O tamanho do estoque de estruturas e o tipo de abordagem feita na gestão dessas estruturas podem influir decisivamente na escolha ou no desenvolvimento de um sistema de gestão de OAEs.

AASHTO (2013) se propõe a uniformizar os procedimentos para se determinarem as condições, necessidades de manutenção e a capacidade de carga das pontes localizadas nos Estados Unidos. No Capítulo 3 do mesmo documento é apresentada uma visão geral dos sistemas de gestão de OAEs e discutidas suas características essenciais. Este item se dedica à apresentação dessa visão geral, onde o sistema de gestão de OAEs é dividido em três grandes grupos: banco de dados, análise dos dados e suporte à decisão, conforme mostrado na Figura 2.4. As atividades desenvolvidas podem ser agrupadas nesses três itens, de forma que os produtos gerados em cada uma das etapas alimentem a etapa seguinte.

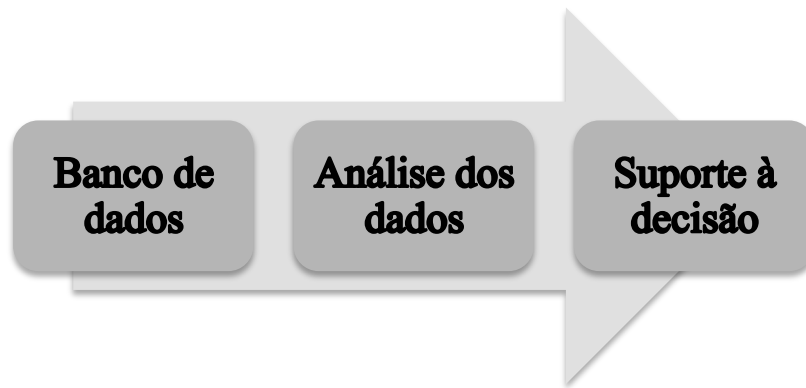


Figura 2.4 - Fluxo de atividades em um sistema de gestão de OAEs

O *banco de dados* é alimentado com informações sobre as condições das estruturas e suas respectivas avaliações, que servirão para a classificação das estruturas com base em um critério objetivo. Informações sobre serviços de conservação e melhoria, com seus respectivos custos, também fazem parte desse banco de dados. Para que diversos cenários sejam ensaiados, essas informações passarão por simulações na etapa seguinte, denominada *análise de dados*, a qual será o subsídio para que o gestor tome a decisão sobre a melhor forma de aplicação dos recursos.

O principal objetivo de um sistema de gestão de OAEs é determinar e implementar uma estratégia de preservação e de melhoria da infraestrutura, integrando de forma otimizada os recursos financeiros disponíveis com as atividades de manutenção. Um sistema de gestão implantado e funcionando aumentam as chances dos recursos aplicados na malha trazerem o melhor retorno para os usuários (AASHTO, 2013). A seguir serão comentados os três grupos mostrados na Figura 2.4.

### **2.2.1. Banco de dados**

O cerne de qualquer sistema de gestão é um banco de dados abrangente e capaz de dar suporte às diversas análises necessárias ao gerenciamento. Não é diferente no sistema de gestão de pontes. Nesse caso os dados são agrupados em três grupos, divididos da seguinte forma:

- Inventário, condições e classificação;
- Custos; e
- Atividades de conservação e melhoria.

O primeiro grupo trata das inspeções realizadas em campo e da avaliação das condições das estruturas. Essa avaliação vai ser o subsídio para a classificação das OAEs em uma escala de prioridade de intervenção. As intervenções necessárias nas estruturas, no entanto, dependem de recursos financeiros para serem realizadas, e os dados preliminares sobre os custos das intervenções necessárias serão de vital importância na fase de análise de dados. Esses dados são aproximados, como áreas de eflorescência, comprimento de fissuras e extensão de armaduras expostas, aos quais se podem associar custos para uma tomada de decisão (AASHTO, 2013).

O acompanhamento das atividades de conservação e melhorias também são detectados durante as inspeções rotineiras ou podem ser diretamente lançados no sistema, permitindo uma comparação da situação atual da estrutura com as condições encontradas nas inspeções anteriores.

O planejamento das intervenções necessita não só das informações gerais de uma estrutura, como uma nota ou uma condição atribuída, mas de informações em um nível mais detalhado. É comum dividir as estruturas das OAEs em duas ou três grandes partes, como superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, mas não é suficientemente detalhado para se projetar a deterioração da estrutura ao longo do tempo. Um conceito que já é usado no SGO é o de elementos comumente reconhecidos - CoRe. Assim OAE pode ser dividida em grupos de elementos compostos pelos mesmos materiais e com as mesmas condições de exposição, permitindo afirmar que a deterioração desses elementos ocorra aproximadamente da mesma maneira. Um exemplo são as juntas de elastômero e os aparelhos de apoio de neoprene fretado, que mesmo sendo constituídos por polímeros, a condição de exposição das juntas faz com que sua deterioração seja mais acelerada do que a dos aparelhos de apoio, que muitas vezes estão situados fora do alcance da luz solar.

### **2.2.2. Análise dos dados**

A análise dos dados permite que a alocação dos recursos seja realizada de forma otimizada, minimizando os custos e mantendo nível de serviço desejado das estruturas. Um sistema de gestão de pontes deve permitir a previsão das consequências das decisões tomadas hoje e para isso lança mão de duas ferramentas muito úteis, que são os modelos de deterioração de estruturas e os modelos de custos relacionados às pontes. A análise desses dois itens darão suporte à seleção dos projetos que acarretarão no máximo benefício econômico.

Dentro do contexto da análise dos dados, o primeiro item a ser considerado é referente à condição do elemento estrutural. Vários modelos de previsão de deterioração têm sido propostos e devem permitir a previsão das condições dos elementos da estrutura, levando em consideração o tipo da estrutura, com e sem manutenção. Os modelos de deterioração permitem identificar tendências de deterioração, conforme mostrado na Figura 2.5, mas precisam ser alimentados com dados sobre as condições da estrutura referentes a diferentes ciclos de inspeção. O ideal é que estejam disponíveis dados de três ou quatro ciclos de inspeções e que esses dados sejam completos, abrangendo o tipo do elemento estrutural, material, condições atuais, histórico de manutenção, idade e o ambiente onde o elemento está inserido (AASHTO, 2013).

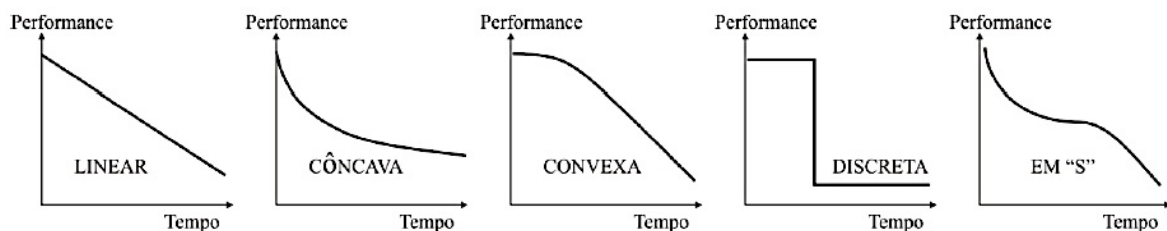


Figura 2.5 - Curvas de degradação (adaptado de VAN DER TOORN, 1992; SHOHET et al., 1999)

A eficiência da gestão da infraestrutura requer que uma análise dos custos das diferentes alternativas seja feita. Conforme já descrito no item 1, os custos referentes às falhas em estruturas de OAEs podem ser diretos e indiretos, no entanto, esses custos podem ser atribuídos ao usuário ou aos gestores da infraestrutura. Os custos atribuídos aos gestores são compostos por investimentos ao longo de anos feitos em manutenção, reabilitação e até mesmo na substituição das estruturas, devendo ser considerados custos das melhorias no sistema. Tudo isso deve ser considerado para o ciclo de vida da estrutura e os valores devem ser convertidos monetariamente para custos atuais.

Assim como os custos para os gestores devem ser minimizados, os ganhos para os usuários devem ser maximizados. Como benefícios para os usuários podem ser citados a redução do tempo de viagem, no número de acidentes e nos custos de operação do motor etc. Os benefícios para o usuário são conseguidos principalmente pela eliminação das deficiências funcionais. Os custos atribuídos aos usuários por causa dessas deficiências são os custos com acidentes e com desvios. Os últimos são geralmente pagos pelas transportadoras, que, devido a limitações de cargas, precisam fazer grandes desvios para chegar ao seu destino. Posteriormente esses custos poderão refletir no custo final dos produtos transportados.

Por fim, dentro da análise dos dados, a otimização se tornou o método preferido de gerenciamento de uma rede de pontes. Assim, são selecionados os projetos de pontes de forma que os benefícios sejam maximizados tanto para os gestores quanto para os usuários. O sistema de gestão de pontes deve permitir ao gestor a análise de diferentes cenários, levando em consideração os casos de restrição ou não de recursos e sua correlação com o nível de serviço mínimo definido. No caso de não haver limitações de recursos, é possível definir uma agenda otimizada de intervenções nas estruturas, de forma que não sejam feitas intervenções desnecessárias, mobilizando o capital disponível, nem sejam deixadas de lado intervenções necessárias para se garantir o nível de serviço mínimo exigido.

Por outro lado, havendo restrições de recursos, algumas intervenções podem ser postergadas, fazendo com que o nível de serviço das estruturas caia até o mínimo definido pelos proprietários. Nesse contexto, o sistema de gestão de OAEs deve ser capaz de utilizar modelos de deterioração e econômicos para calcular os efeitos desses atrasos no nível de serviço, crescimento do tráfego e os impactos nos usuários da via.

Duas técnicas comuns de abordagem da otimização que consideram o nível da rede são: do *topo para a base* ou da *base para o topo*. No primeiro caso, o nível da rede é considerado como uma premissa a ser mantida e somente depois são selecionados os projetos a serem executados e o seu agendamento. Dessa forma, conhecendo-se o nível de serviço requerido (normas), as condições de cada estrutura e o orçamento disponível, a otimização é feita com base em uma análise custo-benefício. Em seguida são elaborados os projetos e as intervenções são agendadas e realizadas. O acompanhamento dos resultados fornece as informações necessárias para que o modelo seja refinado, permitindo ajustes no orçamento e nas normas. Dentre os sistemas relacionados na Tabela 2.2, o sistema *Pontis* utiliza esta abordagem, que se destina a grandes estoques de estruturas (ALMEIDA, 2003; 2013).

Na abordagem da *base para o topo*, a otimização é feita da estrutura para a rede. Com base nas normas e padrões de desempenho previamente definidos, são elaborados os projetos para todas as estruturas da rede, e com base neles são definidos os custos para as intervenções. A comparação dos custos definidos no projeto com o orçamento disponível subsidiará a decisão pela execução dos projetos ou pelo ajuste dos padrões requeridos (normas) e também dos projetos. Dentre os sistemas relacionados na Tabela 2.2, o sistema BRIDGIT utiliza esta abordagem, que se destina a pequenos estoques de estruturas (ALMEIDA, 2003; 2013).

### **2.2.3. Suporte à decisão**

Um sistema de gestão de OAEs tem o objetivo principal de auxiliar os gestores na alocação dos recursos, que muitas das vezes são limitados, de forma que o nível mínimo de serviço seja garantido. Para isso, o sistema deve alimentar o gestor com informações sobre as estruturas e com resultados das análises feitas com base nos modelos de deterioração e econômicos, de forma que as decisões sejam embasadas em subsídios consistentes.

A escolha da melhor política de gestão das OAEs não deve ser feita pelo sistema, uma vez que essa decisão requer experiência, conhecimento e prática, características encontradas somente em um gestor experiente. O sistema de gestão nunca terá em seu banco de dados todas as informações necessárias para uma decisão gerencial, tais como experiência dos engenheiros, necessidades locais e considerações políticas, sejam elas de estado ou de governo, devendo ser usado como uma ferramenta de auxílio ao gestor.

### **3. INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE OAEs**

A avaliação das OAEs em operação pode ser feita para cada elemento, para cada componente ou da estrutura como um todo, mas sempre baseada em dados coletados em inspeções (ALMEIDA, 2013). O objetivo deste capítulo é descrever sucintamente os tipos de inspeção comumente relacionados na literatura e sua periodicidade. Serão descritas em detalhe as duas metodologias de avaliação de estruturas estudadas neste trabalho. A primeira delas é a metodologia adotada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT para alimentação do seu sistema de gestão de OAEs, o SGO, e a segunda é a metodologia GDE/UnB, desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília.

#### **3.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE INSPEÇÕES VISUAIS**

Os procedimentos de inspeção e avaliação de OAEs são definidos no Brasil em documentos específicos, sendo que a norma que versa sobre o assunto é a NBR 9451:2012. A metodologia do DNIT e os critérios de avaliação estão descritos em DNIT (2004a, 2004b, 2004c) e será abordada no item 3.2. A metodologia GDE/UnB tem sua evolução relatada em Castro (1994), Lopes (1998), Boldo (2002), Fonseca (2007) e Euqueres (2011).

Dependendo dos objetivos e procedimentos adotados, as inspeções são divididas em tipos, que são realizadas em diferentes intervalos de tempo. A NBR 9451:2012 divide as inspeções em três tipos: cadastral, rotineira e especial, e define periodicidade apenas para a inspeção rotineira, que não deve ser superior a um ano. O DNIT (2004c) optou por incluir dois novos tipos de inspeção: intermediária e extraordinária. A inspeção rotineira realizada no âmbito do DNIT tem sua periodicidade definida inicialmente em dois anos, podendo ser alterada em função das características e situação da OAE.

A periodicidade das inspeções visuais é definida geralmente em um ano e por vezes em 15 meses, o que possibilita a realização de inspeções em diferentes períodos do ano. Inspeções mais detalhadas são realizadas a intervalos de três a seis anos, sendo que inspeções em locais de difícil acesso, como aparelhos de apoio, e inspeções subaquáticas são realizadas a cada quatro anos (ALMEIDA, 2013). Essas indicações são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Tipos de inspeções em OAEs (adaptado de ALMEIDA, 2013)

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

A inspeção visual é o método de melhor relação custo/informação. Quando realizada por pessoal qualificado, se mostra um meio econômico e confiável, fornecendo em um curto prazo uma visão geral da condição da estrutura. A Figura 3.1 ilustra a relação dos custos com os resultados obtidos: 80% das informações relevantes são obtidas com apenas 20% dos custos de inspeção (CEB-FIB, 2002).

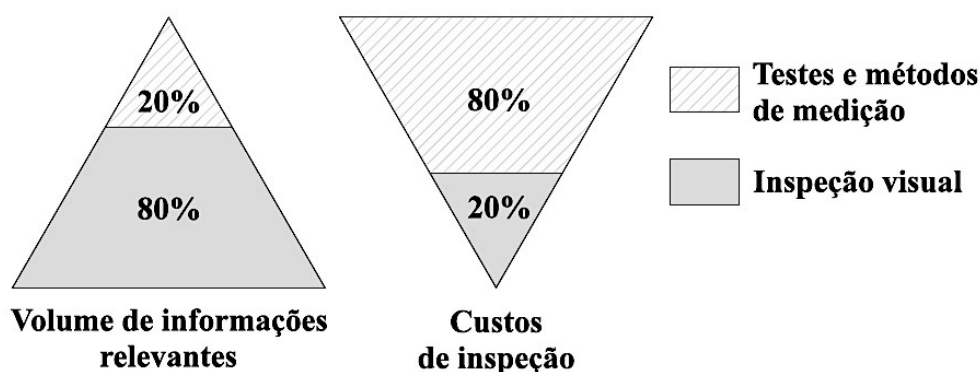


Figura 3.1 - Importância da inspeção visual mostrada em termos de informações obtidas e dos custos totais de inspeção (adaptado de CEB-FIB, 2002).



O restante dos recursos destinados às inspeções (80%) são reservados para a realização de testes/ensaios e outros métodos de medição. Esses testes e medições, além de não serem de simples realização e tenderem a ser onerosos, o processamento dos dados e a interpretação dos resultados podem ser um assunto complexo. Por isso, esses testes são aplicados quando um dano é reportado em uma inspeção visual ou quando é proposta uma mudança no uso da estrutura, e conseqüentemente nas cargas atuantes (CEB-FIB, 2002).

No entanto, nem todos os danos detectados nas inspeções visuais exigem a realização de testes. Além de informações acerca de novos danos, a inspeção visual é uma ferramenta eficiente na verificação da evolução dos danos detectados em inspeções anteriores (FONTES et al., 2014).

Almeida (2013) faz algumas considerações relevantes sobre a subjetividade inerente aos resultados das inspeções, sejam elas apenas visuais ou não, no que se refere à sua subjetividade. Essa subjetividade advém do tipo de inspeção, da metodologia utilizada para a classificação e ainda da subjetividade associada ao inspetor. O tipo de inspeção é influenciado pelos meios envolvidos, nível de acessibilidade, características dimensionais da estrutura e dos materiais. Além disso, as condições em que são realizadas, como meteorologia, limpeza da estrutura e as condições de tráfego, podem ter um papel importante nos resultados.

A metodologia utilizada para a classificação influi nos resultados na medida em que a escala de avaliação é definida com base em uma classificação qualitativa de diferentes níveis de danos. Dessa forma, diferentes inspetores nem sempre interpretarão a classificação da mesma forma.

O último fator de influência no resultado de uma inspeção, talvez o mais importante, é o próprio inspetor. Fatores como a experiência, a formação específica na área de OAEs, personalidade, otimismo ou pessimismo ao atribuir as notas e conforto ao trabalhar em locais altos e em meio ao tráfego, podem influir demasiadamente na avaliação da estrutura. Varela (2007 apud ALMEIDA, 2013) relaciona alguns fatores relacionados ao inspetor:

- Alguns danos estruturais relevantes não são apontados por alguns inspetores;
- O tempo despendido por cada inspetor para uma determinada avaliação pode variar de alguns minutos até várias horas, o que pode ser correlacionado com a confiabilidade dos resultados obtidos;

- A maioria das notas atribuídas se situa na zona média da escala de classificação, mostrando uma tendência em se avaliar melhor as estruturas em pior estado e pior as estruturas em melhor estado (Figura 3.2); e
- 95% das classificações NBI (*National Bridge Inventory*) variam até dois pontos em relação a média (escala de 0 a 9) e só 68% variam um ponto.

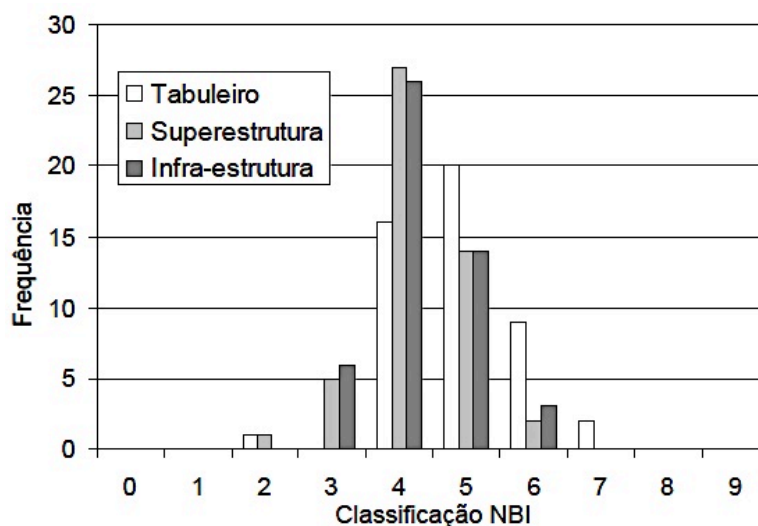


Figura 3.2 - Distribuição das avaliações, segundo a classificação NBI (*National Bridge Inventory*), obtidas para uma determinada OAE por 49 inspetores diferentes (Varela, 2007 apud ALMEIDA, 2013).

Apesar dos fatores que afetam o resultado das inspeções, apenas visuais ou não, elas produzem os subsídios para os sistemas de gestão de OAEs. Portanto, são desejáveis investimentos nos fatores que afetam os resultados, principalmente qualificação dos inspetores e aprimoramento nas metodologias de classificação.

## 3.2. METODOLOGIA ADOTADA PELO DNIT

### 3.2.1. Considerações iniciais

O DNIT mantém um sistema de gerenciamento de suas Obras de Arte Especiais - OAEs capaz de armazenar os dados do estoque de obras sob sua administração. Atualmente na sua terceira versão, o Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais - SGO conta com funções que auxiliam na identificação das necessidades das estruturas e no estabelecimento das prioridades. Dessa forma a alocação de recursos e o estabelecimento de uma política de manutenção podem ser realizados à luz de critérios objetivos.

Antes de 1993 o então Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER<sup>6</sup> possuía um banco de dados onde eram armazenadas as informações cadastrais básicas sobre as pontes existentes. A partir de então deu-se início à elaboração e implantação de um sistema capaz de auxiliar na gestão do seu estoque de OAEs, atividade realizada em três fases. A primeira fase consistiu da elaboração de um sistema com base nas necessidades gerenciais do DNER e foi realizada nos anos de 1993 e 1994. A segunda fase, realizada entre 1995 e 1997, teve como objetivo a inspeção e implantação dessas inspeções no sistema. Ao todo foram inspecionadas 1000 OAEs.

A terceira fase se iniciou no ano de 2001, com uma cuidadosa avaliação da performance do sistema existente e a constatação da necessidade da implementação de melhorias no mesmo. Além das modificações na área de informática, também foram introduzidos novos conceitos de gestão de estruturas. De acordo com DNIT (2004a), havia uma tendência nos Estados Unidos da adoção do gerenciamento baseado em elementos estruturais comumente reconhecidos, denominados elementos padrões, que constituem a base para o gerenciamento, desde as inspeções até as análises gerenciais mais avançadas. Esse elementos padrões, denominados neste trabalho apenas como elementos, desempenham o papel de variáveis e por esse motivo podem receber tratamento analítico pelo sistema. Seus atributos incluem, dentre outros, a sua função na ponte (estrutural ou não), a sua forma geométrica e os materiais constituintes.

O sistema contém uma ampla tabela de elementos, com função estrutural ou não, normalmente encontrados nas OAEs. Trata-se de uma lista aberta em que novos elementos podem ser inseridos pelo usuário. A Tabela 3.2 apresenta alguns desses elementos.

Tabela 3.2 - Exemplos de elementos padrões (adaptado de DNIT, 2004a)

Código	Elemento	Sigla	Função
1	Laje de concreto armado	Lj CA	Estrutural
5	Ponte em laje de concreto armado	Pnt Lj CA	Estrutural
112	Transversina de ligação de concreto armado	Tv Li CA	Secundária
801	Pavimento asfáltico	Pav Asf	Complementar
803	Barreira New Jersey	Bar NJ	Complementar
810	Laje de aproximação	Lj Aprox	Complementar

<sup>6</sup> A Lei 10.233, de 5 de julho de 2001, dentre outras medidas, extinguiu o DNER e criou o DNIT.

A nova versão do SGO, desenvolvida na terceira fase, permite que os elementos possam ser associados a outras listas existentes no sistema, como as listas de tipos de danos, tipos de insuficiências estruturais, tipos de deficiências funcionais etc.

Além das modificações citadas anteriormente, foram incluídos alguns módulos de auxílio ao gerenciamento:

- Módulo de gerenciamento de manutenção de pontes com a indicação de atividades padrões de manutenção;
- Módulo de gerenciamento de pontes notáveis<sup>7</sup>;
- Módulo de gerenciamento de pontes de madeira;
- Módulo de gerenciamento de pontes em rodovias sob o regime de concessões; e
- Módulo de gerenciamento de cargas móveis excepcionais ou cargas indivisíveis.

De acordo com DNIT (2004a), as atividades comuns e fluxo de informações pertinentes a todo SGO incluem: inventário, com a alimentação do sistema com dados de construção, inspeção e manutenção de pontes; pesquisa de volume de tráfego e de deficiências funcionais, contemplando a avaliação da capacidade de carga; atividades de regulamentação, como as de sinalização, de iluminação etc. Todas essas atividades são organizadas de modo racional pelo sistema possibilitando o direcionamento das atividades em função das listas de prioridades de atividades corretivas e dos recursos disponíveis.

O contexto do sistema como um todo pode ser visto na Figura 3.3, na qual podem ser identificadas todas as atividades que envolvem a gestão das OAEs. O início da operação deve ser feito pelo cadastro das estruturas e de seus elementos, permitindo ao gestor conhecer todas as informações relevantes do estoque, tais como quantidade de estruturas, sistema estrutural e localização de cada estrutura. As informações disponíveis no cadastro serão subsídio para as inspeções, que terão como objetivo principal avaliar as estruturas e seus elementos.

Todo elemento que apresentar danos durante as inspeções é identificado pelo sistema e direcionado para a manutenção, onde consta uma relação de serviços (“atividades de manutenção”) e seus respectivos custos. Nesse módulo são selecionadas as intervenções que melhor se ajustam à correção dos danos detectados no elemento.

---

<sup>7</sup> São designadas notáveis as pontes estaiadas, pontes pênses, pontes com mais de 250,00m de comprimento total e as pontes com vão livre superior a 100,00m.



Figura 3.3 - Contexto do SGO v3 (DNIT, 2004a)

A priorização das estruturas para intervenção é feita de acordo com a condição de estabilidade de cada estrutura, refletida por uma nota técnica obtida durante as inspeções. Nos itens 3.2.2 e 3.2.3 serão abordadas as inspeções realizadas para alimentação do SGO e os critérios adotados para a definição da condição de estabilidade da estrutura, respectivamente.

O banco de dados do SGO se relaciona com aplicações externas de geoprocessamento por meio da exportação de arquivos com informações para a formação de mapas temáticos sobre OAEs.

### 3.2.2. Inspeções no âmbito do SGO

A confiabilidade e a qualidade dos dados que alimentam o SGO são de fundamental importância para o bom funcionamento do sistema de gestão. Esses dados devem ser obtidos por meio de inspeções regulares de campo, em que são registradas informações referentes aos danos e às insuficiências estruturais nos vários elementos de uma OAE. Após a sua coleta, os dados servem de subsídio para a avaliação da segurança e da condição de conservação da obra.

A operação do SGO se fundamenta nas inspeções cadastral e rotineira, mas no caso de detecção de uma obra problemática ou o surgimento de um dano repentino na OAE, é necessário o aprofundamento do diagnóstico, que é conseguido pelas inspeções especial,

extraordinária ou intermediária. Todos os cinco tipos de inspeção previstos serão abordados a seguir e suas descrições são baseadas em DNIT (2004a), DNIT (2004b) e DNIT (2004c).

De acordo com DNIT (2004c), o inspetor será sempre um engenheiro devidamente registrado no conselho de classe e, dependendo das responsabilidades que lhe serão atribuídas, poderá ser inspetor ou inspetor sênior.

### **Inspeção Cadastral**

Trata-se de uma inspeção amplamente documentada e compreende o levantamento, em campo e nos arquivos do DNIT, de dados de natureza geométrica, estrutural e funcional da OAE, possibilitando fazer uma perfeita caracterização da mesma. Deve ser realizada imediatamente após a conclusão da obra ou assim que a OAE for incorporada ao sistema viário. Também deve ser realizada quando houver alguma alteração significativa, como alargamento, acréscimo de comprimento, reforço, mudança no sistema estrutural etc.

Os dados cadastrais podem ser agrupados nas seguintes classes:

- Dados básicos;
- Dados para a programação de inspeções;
- Dados sobre as características da obra;
- Dados sobre rotas alternativas;
- Aspectos especiais (leito do rio erodível, nível de vibração elevado etc.); e
- Elementos componentes da OAE.

O detalhamento dos procedimentos a serem adotados durante a inspeção cadastral bem como o modelo de Ficha de Levantamento Cadastral podem ser encontrados em DNIT (2004a).

### **Inspeção Rotineira**

Após a realização do cadastro das OAEs por meio de inspeções cadastrais, é necessário que o banco de dados do SGO seja mantido atualizado. Isso é conseguido por meio das inspeções rotineiras realizadas em intervalos de tempo regulares, coletando-se as informações sobre danos e insuficiências estruturais instaladas nos elementos.

Em condições normais de conservação, as inspeções rotineiras devem ser realizadas a cada dois anos. Em casos especiais, como obras localizadas em ambientes agressivos, obras antigas inseridas em segmentos rodoviários de grande volume de tráfego e obras que possuam elementos sujeitos a ruptura frágil (dentes Gerber), o intervalo entre as inspeções rotineiras deve ser reduzido para um ano ou menos.

Antes de serem implantadas no banco de dados do SGO, as informações coletadas durante a inspeção rotineira devem passar por um processo de revisão e consistência, realizado por um engenheiro especialista em estruturas.

A inspeção rotineira é essencialmente visual e por isso alguns casos especiais não podem ser totalmente cobertos. Um exemplo disso são as fundações, que em sua grande maioria não estão acessíveis visualmente e são avaliadas de forma indireta, pela comparação da geometria da estrutura com o terreno circundante a procura de recalques. Por esse motivo não faz sentido a atribuição de uma nota aos elementos de fundação, a não ser que se constate um problema sério, devendo ser atribuídas as notas 1, para fundação em estado crítico, ou 2, para fundação problemática. Essas notas serão detalhadas em 3.2.3. Outras situações, como as pontes notáveis, a avaliação do risco potencial de erosão do leito do rio e a passagem de carga com excesso de peso são relatadas em DNIT (2004a).

O detalhamento dos procedimentos a serem adotados durante a inspeção rotineira bem como o modelo de Ficha de Inspeção Rotineira podem ser encontrados em DNIT (2004a).

### **Inspeção Especial**

De acordo com DNIT (2004c), as inspeções especiais são basicamente inspeções pormenorizadas comandadas por um inspetor sênior, onde as partes de difícil acesso são examinadas por meio de lunetas, andaimes ou veículos especiais dotados de lança e gôndola. Medidas de flecha com instrumentos de precisão, análise estrutural e inspeções submersas podem ainda ser necessárias neste tipo de inspeção.

Em casos especiais, como o das pontes em caixão, é indispensável a inspeção minuciosa do seu interior, sendo necessários equipamentos auxiliares de iluminação e às vezes de ventilação forçada. Essa se torna necessária devido à possível existência de gases tóxicos ou explosivos, de aracnídeos ou morcegos (DNIT, 2004b).

De acordo com DNIT (2004c), as inspeções especiais devem ser realizadas nos seguintes casos:

- quando a inspeção cadastral ou a inspeção rotineira revelar defeitos graves ou críticos na estrutura da obra;
- em pontes que se distinguem por seu vulto ou complexidade, em intervalos regulares e não superiores a cinco anos e em substituição às inspeções rotineiras; e
- em ocasiões especiais, como antes e durante a passagem de cargas excepcionais.

Diferente do que ocorre nas inspeções cadastral e rotineira, a inspeção especial não possui uma ficha específica, devendo ser elaborado um relatório no qual deverão constar a descrição detalhada da motivação da inspeção especial, as providências dela decorrentes, o registro fotográfico e todos os resultados obtidos.

### **Inspeção Intermediária**

A inspeção intermediária é utilizada para se monitorar uma deficiência suspeita ou já detectada em um dos outros tipos de inspeção, tais como pequenos recalques de fundação, uma erosão incipiente, a movimentação de um aparelho de apoio ou o estado de um determinado elemento estrutural. São verificações simples e, de acordo com DNIT (2004b), não há a necessidade da presença de um inspetor.

Assim como na inspeção especial não há uma ficha específica para este tipo de inspeção. Um relatório específico deve apresentar uma descrição detalhada da deficiência suspeitada e da sua eventual evolução.

### **Inspeção Extraordinária**

A ocorrência de danos repentinos, provocados pelo homem ou pela natureza, podem colocar em dúvida a segurança e a funcionalidade de uma OAE. Nesse caso uma inspeção não programada é realizada com o objetivo de avaliar tipo e extensão dos danos bem como a sua influência na segurança estrutural. Neste tipo de inspeção, o inspetor tem autonomia para limitar ou interromper o tráfego e solicitar uma inspeção especial.

Um relatório específico, não padronizado, deve conter a descrição detalhada dos danos encontrados, as eventuais medições realizadas durante a inspeção, a documentação fotográfica e as medidas tomadas pelo inspetor.



### 3.2.3. Avaliação das OAEs

O SGO armazena informações das inspeções realizadas nos módulos de cadastro e inspeção, mas essas informações puras, sem uma análise, não servem como subsídio para uma priorização das intervenções a serem realizadas no estoque de OAEs. De acordo com DNIT (2004a), a priorização dos serviços de manutenção e recuperação a serem realizados nas obras é feita em função do nível de urgência requerido. Esse nível de urgência é refletido por uma nota técnica atribuída para cada elemento da estrutura (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Notas técnicas e os critérios para sua atribuição (DNIT, 2004a)

Nota técnica	Danos no elemento/insuficiência estrutural	Ação corretiva	Condição de estabilidade	Classificação das condições da OAE
5	Não há danos nem insuficiência estrutural.	Manutenção preventiva.	Boa.	Obra sem problemas.
4	Há alguns danos mas não há sinais de que eles estejam gerando insuficiência estrutural.	Manutenção preventiva e corretiva.	Boa.	Obra sem problemas sérios.
3	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	A recuperação pode ser postergada. Colocar o problema em observação sistemática.	Boa ou boa aparentemente.	Obra potencialmente problemática.
2	Há danos gerando significativa insuficiência estrutural, porém ainda não há, aparentemente, risco tangível de colapso da estrutura.	A intervenção deve ser feita no curto prazo.	Sofrível.	Obra problemática.
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na OAE, o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo risco tangível de colapso estrutural.	A intervenção deve ser feita sem tardar.	Precária.	Obra crítica.

A avaliação da estrutura é feita em uma inspeção rotineira, em que a cada um dos elementos da estrutura é atribuída uma nota. Essa nota, também chamada de nota técnica,

varia de 1 a 5, conforme o grau de deterioração do elemento, sendo que, quanto mais graves são os problemas encontrados no elemento, menor é a sua nota técnica. A nota 1 é reservada aos elementos com função estrutural que estejam em estado crítico. Os demais elementos são avaliados com notas técnicas entre 2 e 5.

Dessa forma, todos os elementos de uma OAE recebem a sua respectiva nota técnica em função dos danos constatados durante a inspeção rotineira. A estrutura como um todo é avaliada com base nas notas técnicas recebidas por seus elementos individualmente, de modo que a nota técnica da OAE corresponde à menor nota técnica recebida pelos seus elementos com função estrutural.

As classificações das OAEs apresentadas na Tabela 3.3 podem ser divididas em dois grandes grupos: obras estruturalmente em boas condições (notas 4 e 5) e as obras estruturalmente problemáticas (notas 1, 2 e 3). Segundo DNIT (2004a), as três classificações de obras problemáticas se distinguem umas das outras em função da gravidade do problema, ou nível de insuficiência da OAE, constatado em um elemento com função estrutural.

As OAEs em estado crítico (condição de estabilidade precária) não podem ser avaliadas quanto ao momento exato em que ocorrerá o colapso, mas quando este ocorrer será sem mais avisos. As obras problemáticas (condição de estabilidade sofrível) possuem elementos que apresentam significativa redução na sua capacidade de carga, e uma postergação da intervenção pode implicar em comprometimento de sua vida útil. Já as OAEs potencialmente problemáticas (condição de estabilidade boa ou boa aparentemente), mesmo apresentando insuficiências estruturais em seus elementos com função estrutural, não apresentam o risco de perda de estabilidade ou o comprometimento de sua vida útil, pelo menos à luz de uma inspeção visual realizada nos elementos aparentes (DNIT, 2004a). O enquadramento de uma determinada OAE em uma das condições de estabilidade cabe ao inspetor.

### **3.3. METODOLOGIA GDE/UnB**

Este item será dedicado à apresentação da metodologia GDE/UnB, abordando inicialmente suas origens, a formulação proposta por Fonseca (2007) para a aplicação da metodologia em estruturas de edificações e, por fim, a aplicação da metodologia em OAEs feita por Euqueres (2011).

### 3.3.1. Origens da metodologia

Durante a execução de um convênio firmado entre a Prefeitura Municipal de Porto Alegre e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Klein et al. (1991) inspecionaram onze OAEs situadas na região metropolitana de Porto Alegre/RS. O método de trabalho utilizado visava evidenciar os problemas existentes nas estruturas, sistematizar um processo de inspeção e classificar as estruturas em função da gravidade dos problemas encontrados por meio da definição de um grau de risco. Essa metodologia se mostrou eficiente na classificação das onze obras em função da gravidade dos danos detectados.

Segundo Klein et al. (1991), a facilidade com que os parâmetros adotados podem ser adaptados a outros tipos de estrutura, considerando assim suas características particulares, explica a abrangência desta metodologia. De fato posteriormente a metodologia foi adaptada e aplicada na avaliação de estruturas diversas.

Com base no trabalho apresentado por Klein et al. (1991), Castro (1994) desenvolveu a metodologia chamada GDE/UnB, que tem como objetivo avaliar quantitativamente estruturas de concreto convencionais, e a aplicou em duas edificações de ocupações diferenciadas. Após várias etapas de ajustes da formulação proposta, os resultados encontrados se mostraram consistentes com o estado de deterioração em que as estruturas se encontravam.

Castro (1994) alertou sobre a necessidade de um número maior de aplicações para o melhor ajuste da formulação e dos parâmetros empregados. Posteriormente a metodologia foi sucessivamente ajustada e aplicada por Lopes (1998), em seis edificações comerciais do Banco do Brasil, por Boldo (2002), em quarenta edificações Exército Brasileiro de diversas ocupações, e por Fonseca (2007), no Instituto Central de Ciências da UnB - ICC, todas aplicadas a estruturas de concreto de edificações. Uma aplicação posterior foi realizada por Euqueres (2011), em onze pontes escolhidas aleatoriamente no estado de Goiás.

Em trabalhos de inspeção, de uma forma geral, há uma considerável dificuldade em se minimizar a subjetividade do trabalho. Durante o desenvolvimento do seu trabalho, Castro (1994) elaborou e utilizou um documento de auxílio à inspeção que contém a conceituação dos danos de maior incidência e recomendações para a atribuição dos valores de *Fatores de intensidade do dano* - Fi. Esse documento, denominado *Caderno de Inspeção*, foi ainda

utilizado por Lopes (1998) e revisado por Boldo (2002), que atribuiu a ele a denominação de *Roteiro de Inspeção para Estruturas de Concreto*. Fonseca (2007) apresentou nova adaptação do roteiro, incorporando a este alterações na formulação da metodologia, como as alterações nas fórmulas de cálculo do *Grau de deterioração de uma família* -  $G_{df}$ , do *Grau do Dano* - D, e nos tipos de danos mais frequentes.

Euqueres (2011) também utilizou um documento de referência para auxílio às inspeções das pontes. O documento foi elaborado com base no roteiro apresentado por Fonseca (2007) e recebeu a denominação *Roteiro de Inspeção para Estruturas e Pontes de Concreto Armado*.

### **3.3.2. Formulação propostas por Fonseca (2007)**

A metodologia GDE/UnB foi aplicada em estruturas de edificações por Fonseca (2007), que propôs alterações na formulação para o cálculo do *Grau de deterioração de uma família* -  $G_{df}$  e do *Grau do Dano* - D. Essas alterações foram usadas posteriormente por Euqueres (2011), porém com as necessárias adequações das famílias de elementos devido às particularidades das estruturas de pontes em relação às estruturas de edificações. O item 3.3.3 será dedicado a descrever esta aplicação. Este item tem como objetivo descrever a metodologia GDE/UnB apresentada por Fonseca (2007).

A metodologia é composta por etapas que abrangem atividades de escritório e de campo, sendo que as etapas de campo podem se limitar à atribuição dos valores para os *Fatores de intensidade do dano* -  $F_i$  e para os *Fatores de ponderação de um dano* -  $F_p$  (Figura 3.4). Caso a documentação da estrutura esteja disponível, como projetos, memórias de cálculo e arquivos de inspeções anteriores, a divisão dos elementos em *famílias* de elementos estruturais típicos pode ser feita ainda no escritório.

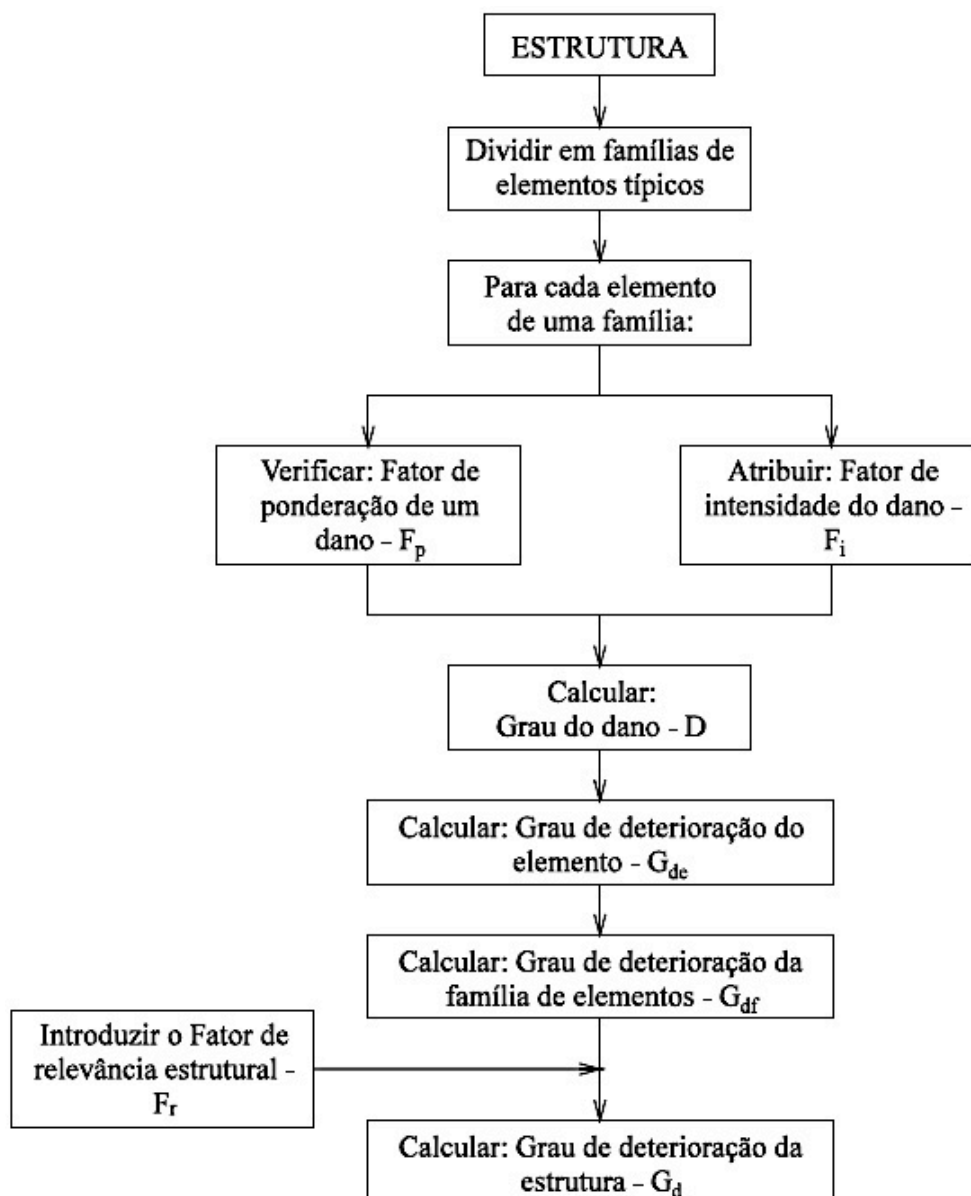


Figura 3.4 - Fluxograma para avaliação quantitativa (Adaptado de CASTRO, 1994)

Na sequência serão apresentados todas as etapas mostradas na Figura 3.4 e a metodologia ou formulação para sua obtenção.

### **Divisão em famílias de elementos típicos**

Nessa etapa os elementos são agrupados de acordo com suas características estruturais peculiares e com a sua função estrutural no conjunto. Os elementos pertencentes a uma família são tratados na presente metodologia de forma igualitária, portanto essa divisão não é fixa e deve ser avaliada sempre que a metodologia for aplicada. Isso decorre do fato de elementos estruturais de mesma denominação terem importância estrutural distintas em sistemas estruturais diferentes.

Um exemplo seriam as transversinas em uma OAE, que podem ser portantes ou de ligação. As primeiras suportam o carregamento permanente de uma laje e atuam na distribuição transversal de esforços. As transversinas de ligação atuam apenas na distribuição transversal de esforços. Dessa forma, a ruína desses dois elementos implicam em consequências distintas na estabilidade global da estrutura, portanto é recomendável que fiquem em famílias distintas. Fonseca (2007) aplicou a metodologia com as famílias divididas conforme a Tabela 3.4. Essa tabela será melhor detalhada no item específico sobre o *Fator de relevância estrutural* -  $F_r$ .

Tabela 3.4 - Fatores de relevância estrutural ( $F_r$ ) das diversas famílias de elementos estruturais (adaptado de FONSECA, 2007)

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

Cada família contém elementos selecionados com base em sua importância relativa no comportamento e no desempenho da estrutura como um todo.

### **Fator de ponderação do dano ( $F_p$ )**

De acordo com Castro (1994), o  $F_p$  tem o objetivo de quantificar a importância relativa de um determinado dano no que se refere às condições gerais de segurança, funcionalidade e estética dos elementos de uma determinada família. Isso permite que uma mesma manifestação patológica tenha fatores de ponderação distintos em famílias diferentes. Como exemplo, podem ser citados os valores de  $F_p$  atribuídos por Castro (1994) para o deslocamento em reservatórios ( $F_p = 5$ ) e em lajes ( $F_p = 3$ ). Os valores de  $F_p$  podem variar de 1 a 5.

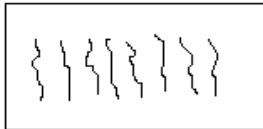
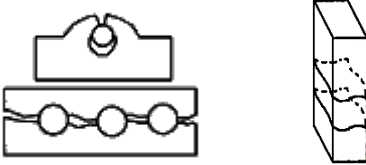
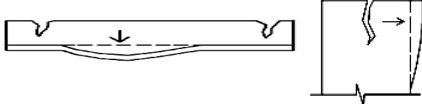
Desde a sua primeira versão, proposta por Castro (1994), a metodologia GDE/UnB utiliza formulários que devem ser preenchidos durante a inspeção da estrutura, conforme a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Modelo de ficha de inspeção para pilares (adaptado de EUQUERES, 2011)

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

Nesse tipo de ficha, os valores de  $F_p$  são preenchidos antes da inspeção, sendo que a única exceção se faz ao caso das fissuras, em que o valor de  $F_p$  é definido no momento da inspeção de acordo com as Tabelas C.1 e C.2 do APÊNDICE B. A título de exemplo, os casos referentes às fissuras formadas no estado plástico estão transcritos na Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Valores de  $F_p$  sugeridos em função da tipologia das fissuras (adaptado de Fonseca (2007)).

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

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

Diferentemente do  $F_p$ , o *Fator de intensidade do dano* -  $F_i$  não leva em consideração o elemento estrutural no qual dano se encontra e varia de zero a quatro. O  $F_i$  tem por objetivo classificar a gravidade e a evolução isolada do dano em um determinado elemento.

Castro (1994) alerta que esse tipo de pontuação pode resultar em uma avaliação muito subjetiva caso não seja acompanhada de uma classificação mais detalhada, em que se identifique o nível de gravidade e sua evolução. O caderno de inspeções elaborado por Castro e suas alterações posteriores por Boldo (2002), Fonseca (2007) e Euqeres (2011) contemplam a relação dos danos e as recomendações de  $F_i$  acompanhadas de fotos e desenhos que, apesar de não eliminarem, reduzem demasiadamente o caráter subjetivo da atribuição do fator de intensidade.

A Tabela 3.7 apresenta alguns exemplos de danos e recomendações de valores para  $F_i$  em função das características observadas no dano. São levadas em consideração constatações feitas por meio de uma simples observação visual, desde testes simples, como a medição da profundidade da frente de carbonatação, até a análise do ambiente onde o dano se encontra e comparação de valores de deformação medidos com os valores limites recomendados por normas.

Tabela 3.7 - Exemplos de Fatores de intensidade ( $F_i$ ) recomendados (adaptado de FONSECA, 2011)

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

Os valores de  $F_i$  crescem com a gravidade do estado em que o dano se encontra. As eflorescências são um tipo de dano encontrado com certa frequência em OAEs, e caso seja formado apenas por manchas de pequenas dimensões, de acordo com a Tabela 3.7, lhe será atribuído o valor de  $F_i$  igual a 2. Por outro lado, em um caso avançado de deterioração, em



lugar das pequenas manchas serão encontradas grandes formações de carbonato de cálcio (estalactites), indicando que uma quantidade significativa de material solúvel foi carregado do interior da peça de concreto, e nesse caso será atribuído a esse dano o valor de  $F_i$  igual a 4.

Além da indicação descritiva exemplificada na Tabela 3.7, o *Roteiro de inspeção de pontes de concreto armado e protendido* conta com imagens exemplificando danos em diferentes estados de deterioração com os respectivos valores de  $F_i$  recomendados.

### **Grau do dano (D)**

O modelo de Tuutti foi desenvolvido originalmente para descrever o mecanismo de corrosão em armaduras de reforço do concreto, mas pode ser aplicado mais amplamente para descrever a deterioração em geral. Esse modelo fornece uma possível descrição geral de como o processo de deterioração pode se desenvolver no interior de uma estrutura de concreto, e define (TUUTTI, 1982; CEB-FIB, 2002):

- Período de iniciação: é o período de tempo em que nenhum dano se apresenta, embora o processo de deterioração esteja ativo;
- Período de propagação: é o período em que os danos estão se desenvolvendo e se propagando no interior da estrutura; e
- Vida útil: é o período no qual a estrutura cumpre os requisitos técnicos especificados

Pelas definições anteriores, percebe-se que o tempo é uma das variáveis necessárias para a aplicação do modelo. Entretanto, em muitas das estruturas existentes a sua idade é desconhecida ou conhecida apenas com aproximação de décadas.

Introduzido por Castro (1994), a formulação do cálculo de D faz uma analogia com o modelo proposto por Tuutti (1982), considerando que a deterioração ocorreria em duas fases distintas: iniciação e propagação. Entretanto, em vez do tempo, Castro (1994) utilizou como variável para definição do *grau do dano* o valor do *fator de intensidade do dano* -  $F_i$ . Na Figura 3.5 são mostradas cinco curvas para diferentes *fatores de ponderação do dano* -  $F_p$ , onde o *grau do dano* - D é uma função do  $F_p$  ( $1 \leq F_p \leq 5$ ), inerente a cada dano e pré-estabelecido para a família<sup>8</sup>, e do  $F_i$ , atribuído pelo profissional responsável

---

<sup>8</sup> Exceto no caso das fissuras, em que o valor do  $F_p$  é variável.

pela inspeção ( $0 \leq F_i \leq 4$ ). Em cada uma dessas curvas se observa um ponto de inflexão, que divide os períodos de iniciação e de propagação.

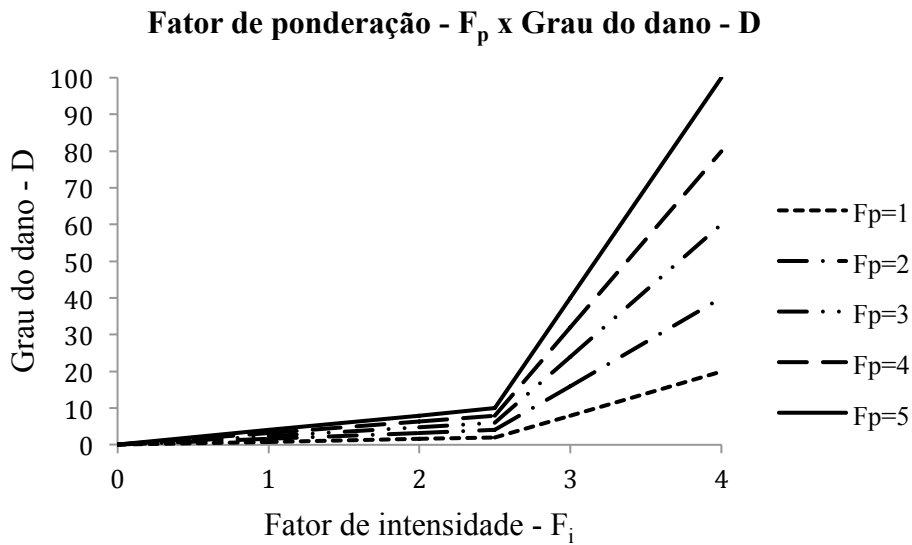


Figura 3.5 - Grau do dano (D) x Fator de intensidade ( $F_i$ ) para valores de  $F_p$  variando de 1 a 5

O valor de D pode ser calculado pela Equação 3.1 ou pela Equação 3.2.

$$D = 0,8 \cdot F_i \cdot F_p \quad \text{Para } F_i \leq 2,0 \quad \text{Equação 3.1}$$

$$D = (12 \cdot F_i - 28)F_p \quad \text{Para } F_i \geq 3,0 \quad \text{Equação 3.2}$$

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

Após a obtenção dos graus isolados de cada dano (D) é feita uma análise dos efeitos de todos os danos no elemento por meio da Equação 3.3. Essa equação, proposta por Lopes (1998), procura preservar a filosofia da metodologia, fazendo com que aos efeitos do maior dano sejam adicionados os efeitos dos demais.

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \left[ 1 + \frac{\left( \sum_{i=1}^n D_i \right) - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^n D_i} \right] \quad \text{Equação 3.3}$$

Onde:

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

$D_i$  Grau do dano de índice “i”;

$D_{m\acute{a}x}$  Maior Grau do dano encontrado no elemento;  
 $n$  Número de danos encontrados no elemento.

De acordo com o valor de  $G_{de}$  calculado para cada elemento, são feitas recomendações das ações a serem adotadas, conforme a Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento pela metodologia GDE/UnB (FONSECA, 2007)

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

Além do valor de  $G_{de}$ , são apresentados os cinco níveis de deterioração do elemento e as respectivas recomendações de ações a serem adotadas. À medida que o valor do  $G_{de}$  aumenta as ações recomendadas se tornam mais rigorosas chegando à inspeção especial emergencial com intervenção imediata.

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

O  $G_{df}$  tem como objetivo avaliar o conjunto de elementos pertencentes a uma mesma família. Para isso, leva em consideração os valores de  $G_{de}$  obtidos para cada elemento pertencente à família em estudo (Equação 3.4).

$$G_{df} = G_{de,m\acute{a}x} \sqrt{1 + \frac{\left( \sum_{i=1}^m G_{de,i} \right) - G_{de,m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}}} \quad \text{Equação 3.4}$$

Onde:

$G_{de,m\acute{a}x}$	Maior grau de deterioração encontrado na família de elementos;
$G_{de,i}$	Graus de deterioração apresentados pelos elementos da família ( $\geq 15$ );
$m$	número de elementos com $G_{de} \geq 15$ .

Deve ser observado que na Equação 3.4 são considerados apenas os valores de  $G_{de}$  iguais ou superiores a 15. A necessidade de consideração de um valor mínimo para o  $G_{de}$  foi constatada no desenvolvimento da metodologia por Castro (1994). A fim de caracterizar o que denominou *danos expressivos*, Castro (1994) simulou a ocorrência simultânea de todos os danos possíveis em uma determinada família, onde foi atribuído o valor de  $F_i$  igual a 2,5 para todos os danos. O processo foi repetido para todas as famílias, obtendo-se para todas elas valores de  $G_{de}$  próximos a 15, surgindo então a recomendação de utilização apenas de valores iguais ou superiores a 15.

#### **Fator de relevância estrutural da família ( $F_r$ )**

Este fator tem como objetivo levar em consideração a importância relativa de uma família de elementos no comportamento e no desempenho da estrutura como um todo, dependente assim do sistema estrutural em análise. Em seu trabalho, Fonseca (2007) utilizou os valores de  $F_r$  apresentados na Tabela 3.4.

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

O Grau de deterioração da estrutura como um todo é definido em função dos valores de  $G_{df}$  obtidos por cada família da estrutura ponderados pelos respectivos fatores de relevância estrutural ( $F_r$ ), conforme a Equação 3.5.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k (F_{r,i} \cdot G_{df,i})}{\sum_{i=1}^k F_{r,i}} \quad \text{Equação 3.5}$$

Onde:

$k$ :	Número de famílias da estrutura;
$F_{r,i}$ :	Fator de relevância estrutural da família de ordem “i”;
$G_{df,i}$ :	Grau de deterioração da família de ordem “i”.

A equação apresentada se trata de uma média ponderada dos valores de  $G_{df}$  em função dos respectivos valores de  $F_r$ .

Após a definição do valor de  $G_d$ , assim como foi feito para cada elemento (Tabela 3.8), a estrutura pode ser classificada em uma escala com a indicação do nível de deterioração e a recomendação de ações a serem tomadas, conforme a Tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura pela metodologia GDE/UnB (FONSECA, 2007)

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

### 3.3.3. Aplicação da metodologia GDE/UnB por Euqueres (2011)

Depois de aplicada em edifícios por Castro (1994), Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007), a metodologia GDE/UnB foi aplicada em OAEs por Euqueres (2011), que utilizou a mesma formulação proposta por Fonseca (2007), mas com as adequações necessárias na divisão dos elementos das OAEs em famílias.

Com o objetivo de aplicar a metodologia em OAEs, Euqueres (2011) propôs uma divisão dos elementos estruturais de OAEs em famílias, conforme a Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Fatores de relevância estrutural ( $F_r$ ) (EUQUERES, 2011)

Elemento	$F_r$
Barreira de defensas e/ou Guarda-rodas	1,0
Pista de rolagem	2,0
Cortinas, juntas de dilatação	3,0
Lajes, fundações, aparelhos de apoio, vigas secundárias	4,0

O *Roteiro de inspeção para estruturas de concreto* passou por uma revisão, com a inclusão de novas fotos de danos para auxílio nas inspeções, no entanto se manteve a mesma estrutura apresentada por Fonseca (2007). Com essas alterações passou a se chamar *Roteiro de inspeção para estruturas de pontes de concreto armado*.

Outra alteração relevante foi nos prazos recomendados para intervenções em função do nível de deterioração do elemento e da estrutura (Tabela 3.8 e Tabela 3.9), em que o “longo prazo” passou a ser definido como 2 anos, o “médio prazo” como 18 meses e o “curto prazo” como 1 ano (Tabela 3.11 e da Tabela 3.12).

Tabela 3.11 - Nível de deterioração do elemento e as recomendações de ações em função do valor de  $G_{de}$  (EUQUERES, 2011)

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

Tabela 3.12 - Nível de deterioração do elemento e as recomendações de ações em função do valor de  $G_d$  (EUQUERES, 2011)

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

---

Nível de deterioração	$G_d$	Ações a serem adotadas
Crítico	$> 101$	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

---

Euqeres (2011) aplicou a metodologia a 11 OAEs do estado de Goiás, iniciando por um estudo piloto, que avaliou as alterações feitas na metodologia. Nesse estudo piloto apenas um dos elementos apresentou valor de  $G_{de}$  superior a 15, de forma que o *grau de deterioração da estrutura* fosse comandado apenas por um dos elementos da OAE.

Com base nesse resultado, Euqeres (2011) aplicou a metodologia considerando todos os valores de  $G_{de}$  maiores que zero, fazendo com que todos os elementos da estrutura contribuíssem na avaliação global da OAE.

## **4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OAEs**

Nos itens 3.2 e 3.3 foram apresentadas as duas metodologias de avaliação de estruturas estudadas no presente trabalho. Apesar das duas metodologias terem o mesmo fim, que é a avaliação da estrutura, o alcançam por caminhos distintos, mas passam obrigatoriamente pela identificação e avaliação dos danos existentes na estrutura. Este capítulo tem como objetivo apresentar alguns dos conceitos mais comuns referentes à patologia de estruturas bem como exemplos de danos encontrados em OAEs rodoviárias.

### **4.1. CONCEITOS RELACIONADA À PATOLOGIA DE ESTRUTURAS**

Para Helene (1992), “Patologia pode ser entendida como a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis”, sendo estas as partes do diagnóstico do problema. Embora não faça parte do diagnóstico, é também conveniente que se conheçam as consequências que o problema causa no comportamento geral da estrutura, ou seja, o prognóstico.

Grande parte dos problemas patológicos se refletem em manifestações externas, ou sintomas, que permitem fazer julgamentos acerca das demais partes do diagnóstico do problema. Os sintomas são também denominados lesões, danos, defeitos ou manifestações patológicas (HELENE, 1992). Dessa forma, uma inspeção rotineira, que se caracteriza por observações visuais, objetiva identificar os sintomas existentes na estrutura e relacioná-los com suas possíveis causas, mecanismos e origens.

No presente trabalho, o termo utilizado para se referir às manifestações patológicas é o dano. Essa escolha se baseia na terminologia utilizada nos trabalhos que descrevem as duas metodologias utilizadas nesta pesquisa: DNIT (DNIT, 2004a, 2004b, 2004c) e GDE/UnB (Castro, 1994; Lopes, 1998; Boldo, 2002; Fonseca, 2007; Euqeres, 2011).

A origem e as causas se referem às fases da vida útil da construção e ao agente causador, respectivamente, podendo ser identificadas em grande parte dos casos em uma inspeção rotineira. O mecanismo se refere aos vários processos que ocorrem durante as interações entre os agentes agressivos e os materiais existentes na estrutura.

Outros termos de amplo uso em patologia de estruturas são durabilidade, vida útil e desempenho, que muitas vezes são utilizados como sinônimos. O desempenho da construção, refletido pelas exigências quanto às suas capacidades mecânica, funcional ou



estética, podem ser afetadas pelos danos existentes na sua estrutura, deixando clara a correlação entre o dano e o desempenho da estrutura. O tempo e as condições de exposição são fatores que contribuem para evolução dos danos. Dessa forma, vida útil, durabilidade e desempenho são as três pontas de um triângulo que são afetadas pela ocorrência de danos, conforme mostrado na Figura 4.1 (ANDRADE, 2005).



Figura 4.1 - Conceitos gerais correlatos à patologia das construções (ANDRADE, 2005).

Fica evidente que os danos influem no comportamento da estrutura, influência que se dá pela alteração das propriedades<sup>9</sup> dos seus elementos. O conjunto dessas propriedades define como será o comportamento da estrutura e por consequência o seu desempenho frente a um determinado estímulo externo (CALLISTER e RETHWISCH, 2013).

Visto sob a ótica da ciência dos materiais, o conceito de desempenho pode parecer pouco prático, mas do ponto de vista de uma norma de desempenho, esse conceito se torna mais palpável. A NBR 15575-1:2013 define desempenho como o “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”, sendo o sistema estrutural um deles. Apesar de tratar de edificações habitacionais, o conceito é perfeitamente aplicável às estruturas de OAEs.

O período de tempo em que a estrutura se mantém acima do nível de desempenho mínimo exigido pode ser entendido como a vida útil. Bertolini (2010) define a vida útil de uma estrutura “como o período durante o qual a estrutura é capaz de garantir não apenas sua estabilidade mas todas as funções para as quais foi projetada”. A NBR 6118:2014 define a vida útil de projeto como “o período de tempo durante o qual se mantêm as características

---

<sup>9</sup> De acordo com Callister e Rethwisch (2013), todas as propriedades importantes dos materiais sólidos podem ser agrupadas em seis categorias: mecânica, elétrica, térmica, magnética, ótica e de deterioração.

das estruturas de concreto, **sem intervenções significativas**, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, [...]” (grifo nosso). Essa última definição ressalta que a manutenção da estrutura em um determinado nível de desempenho deve ser uma atividade viável economicamente.

Além das questões relacionadas aos danos, devem ser consideradas questões funcionais das estruturas como fatores que limitam a vida útil de uma estrutura. Nesses casos, os critérios de desempenho podem ser alterados em de acordo com a demanda, ou seja, com a necessidade dos usuários. No caso específico das estruturas de OAEs, as estruturas originais podem se tornar estreitas em função do aumento do tráfego ou estruturalmente subdimensionada por causa do aumento das cargas transportadas, tornando as estruturas funcionalmente obsoletas. Nesse caso, uma avaliação criteriosa de custos responderá qual a opção economicamente mais viável: reabilitação<sup>10</sup> ou a completa substituição da OAE. (CHANTER e SWALLOW, 2007; RYALL, 2010)

De acordo com a NBR 6118:2014, durabilidade “consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. Em outras palavras, pode-se dizer que durabilidade é a capacidade da estrutura cumprir a sua vida útil, o que leva a questionar afirmações como “mais durável” ou “menos durável”, uma vez que, ao cumprir a sua vida útil, a estrutura atende a todas as exigências de desempenho que lhe são impostas pelo tempo determinado.

#### **4.2. DANOS EM OAEs**

As interações entre os materiais e o ambiente pode reduzir o desempenho dos materiais como consequência da deterioração de suas propriedades, sendo que os mecanismos de deterioração são diferentes nos três tipos de materiais<sup>11</sup>. Nos metais, ocorre uma efetiva perda de material, seja ela por dissolução (corrosão) ou pela formação de um filme não metálico (oxidação). Os materiais cerâmicos, mesmo sendo mais resistentes, podem sofrer deterioração em temperaturas elevadas ou em ambientes extremos; esse processo frequentemente é chamado de corrosão. Os polímeros podem se dissolver quando expostos

---

<sup>10</sup> “Conjunto de atividades que, além de recuperar e reforçar a ponte introduz modificações, tais como aumento da capacidade de carga, alargamento, passeios laterais e barreiras de segurança, que aumentam o conforto e a segurança dos usuários” (DNIT, 2004c).

<sup>11</sup> Os materiais podem ser divididos em três grandes grupos: metais, cerâmicos e polímeros (CALLISTER e RETHWISCH, 2013).

a solventes, ou podem absorver o solvente e inchar. A radiação eletromagnética (ultravioleta) e o calor também podem promover alterações nas estruturas moleculares dos polímeros (CALLISTER e RETHWISCH, 2013).

A deterioração das estruturas de concreto podem ter suas causas separadas em dois grandes grupos: causas físicas e causas químicas. As causas físicas podem ser divididas em desgaste superficial e fissuração. Já as causas químicas podem ser divididas em: reações troca catiônica entre fluidos agressivos e a pasta de cimento; hidrólise e lixiviação de produtos de hidratação do cimento; e as reações envolvendo a formação de produtos expansivos. Salienta-se que a divisão entre causas físicas e químicas é puramente arbitrária, uma vez que as duas frequentemente se sobrepõem (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

#### **4.2.1. Corrosão de armadura**

Assim como nas demais estruturas, os danos ocorrem em OAEs de acordo com um mecanismo específico, que pode provocar manifestações, ou danos diversos, como ocorre com a corrosão da armadura - que pode se manifestar na superfície do elemento estrutural por meio de manchas, deslocamento ou fissuras.

Na Figura 4.2 são mostrados os pilares de duas OAEs construídas em épocas diferentes. O pilar mostrado segundo plano pertence a uma ponte rodoferroviária, construída entre os anos de 1969 e 1970. A OAE mostrada em primeiro plano foi construída em meados da década de 1980. As duas OAEs estão localizadas próximas ao encontro do rio com o mar.



Figura 4.2 - Vista de um dos pilares da ponte, mostrando a deslocamento do concreto de cobrimento provocado pela corrosão da armadura.

O concreto endurecido é um meio que proporciona uma excelente proteção às barras de aço. O elevado pH da solução intersticial do concreto promove a passivação da armadura, que pode ser entendida como a formação de um filme de óxidos e hidróxidos, sendo que os mais comuns são:  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  e  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . A perda dessa camada protetora da armadura, também chamada de despassivação da armadura, se dá basicamente de duas formas: carbonatação do concreto, pela exposição a substâncias como o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), tendo como consequência a redução do pH da solução intersticial; e pela ação de cloretos, que promovem a ruptura local da camada passivadora, independentemente do pH do meio (SANTOS, 2006; NBR 6118, 2014; DYER, 2015; RIBEIRO e CUNHA, 2014; SOUZA, 2014).

Eliminada a proteção da armadura, a sua corrosão ocorre por um processo eletroquímico composto basicamente por duas reações: uma anódica (oxidação) e outra catódica (redução). A reação anódica não progride sem que haja um fluxo de elétrons no sentido do cátodo, que é mantido pelo consumo de elétrons na região catódica. Dessa forma, a presença de água (eletrólito) e de oxigênio (oxidação) são imprescindíveis para que a corrosão eletroquímica ocorra (MEHTA e MONTEIRO, 2008; BERTOLINI, 2010; BAROGHEL-BOUNY et al., 2014).

De volta ao exemplo mostrado na Figura 4.2, a proximidade das OAE com o mar e a existência de uma zona de variação de maré onde o concreto é abastecido alternadamente por água e ar, promovem tanto elementos para a despassivação da armadura (íons cloreto presentes na água do mar), quanto o ambiente propício para a manutenção do processo de corrosão eletroquímica. Há que se observar que o processo é generalizado apenas na OAE rodoviária, mais recente, construída na década de 1980. Esse fato coloca em evidência a importância de outros fatores além da agressividade do meio onde a estrutura está inserida.

Em uma mesma estrutura podem ocorrer diferentes condições de exposição dos elementos estruturais, ou seja, diferentes microclimas, com diferentes consequências na durabilidade da estrutura. O pilar mostrado na Figura 4.3 (a) é um exemplo.



Figura 4.3 - Pilar de viaduto com: (a) acúmulo de galhos e terra na base do pilar, e (b) deslocamento do concreto causado pela corrosão da armadura.

O acúmulo de detritos entre o pilar e o aterro de acesso criou um microambiente onde a água fica retida por mais tempo, ao mesmo tempo em que permite o acesso de ar à superfície do pilar. Essa combinação se mostra propícia à instalação do processo de corrosão eletroquímica. A fissuração do revestimento mostrada na Figura 4.3 (b) foi causada pela corrosão da armadura do pilar, sendo que este e outros pontos de deslocamento ocorrem apenas do lado onde houve acúmulo de detritos.

#### 4.2.2. Recalque de apoio

Alguns tipos de danos não dependem diretamente dos materiais utilizados na estrutura ou da agressividade que o meio impõe à estrutura. Embora não faça parte da estrutura, o terreno de fundação é parte integrante do conjunto responsável pela estabilidade da obra. Dessa forma, as características do solo, obtidas geralmente por sondagens, são indispensáveis para definição do tipo de fundação e da análise da interação solo-estrutura. Incorreções nessa análise podem levar a adoção de comprimentos insuficientes de estacas e tubulões, que transferirão o carregamento para um terreno sem capacidade de suporte. (SOUZA e RIPPER, 1999)

A ponte mostrada na Figura 4.4 (a) está localizada em um trecho em tangente da rodovia, e apresentou um deslocamento lateral, conforme mostrado na mesma figura. O recalque de um dos apoios da ponte provocou o desalinhamento da estrutura, o que pode ser constatado pela variação de abertura da junta de dilatação do apoio central da OAE (Figura 4.4 (b)). Não se conhecem os motivos do recalque.



(a)



(b)

Figura 4.4 - Ponte com desalinhamento provocado por recalque de fundação: (a) vista longitudinal da estrutura mostrando o desalinhamento; (b) junta de dilatação do centro da ponte com abertura diferenciada dos dois lados.

Outra ponte que sofreu recalque de apoio, também localizada em um trecho em tangente, é mostrada na Figura 4.5 (a). A vista longitudinal de uma das barreiras permite identificar o recalque. A deformação imposta na superestrutura deu origem a tensão adicional de compressão na parte superior da barreira, constatado pelo deslocamento de parte da barreira na porção superior. Assim como na OAE mostrada na Figura 4.4 (a), o recalque desta OAE também provocou um deslocamento lateral, conforme mostrado na Figura 4.5 (b).



(a)



(b)

Figura 4.5 - Ponte com recalque de apoio no vão central: (a) vista longitudinal da estrutura mostrando o deslocamento vertical; (b) vista o trecho de acesso mostrando o desalinhamento da estrutura.

### 4.2.3. Sinais de esmagamento do concreto

O esmagamento do concreto ocorre basicamente por concentração de tensões, que podem ser provocadas por um carregamento adicional, aumentando assim os esforços de compressão no elemento estrutural, ou por falha em um dos componentes da estrutura, geralmente no aparelho de apoio. O primeiro caso não é muito comum, uma vez que o dimensionamento de estruturas de concreto prevê que as estruturas não se rompam de forma frágil, ou seja, nos casos de flexão simples ou composta, o dimensionamento é feito de forma que a ruptura do concreto ocorra acompanhada do escoamento da armadura (NBR 6118:2014).

A concentração de tensões ocorre geralmente por deficiências nos aparelhos de apoio<sup>12</sup>. Um exemplo é ponte mostrada na Figura 4.6 (a), cujo sistema estrutural do trecho sobre o rio é formado por arcos triarticulados que descarregam no apoio por meio de articulações de chumbo (Figura 4.6 (b)).



Figura 4.6 - Ponte em arco: (a) vista da ligação entre o arco triarticulado e o apoio; (b) detalhe da articulação de chumbo.

As articulações de chumbo, muito utilizadas antes das articulações de concreto e do neoprene fretado, se mostrou um material inadequado para este fim, uma vez que após pouco tempo de uso escoava, perdendo sua forma original, se transformando em uma lâmina delgada e de contorno irregular, conforme mostrado na Figura 4.6 (b). Hoje essas articulações não são mais utilizadas em novos projetos e as existentes estão em processo de substituição (DNIT, 2004b).

<sup>12</sup> Em DNIT (2004b) se utiliza o termo “articulações” para designar os aparelhos de apoio fixos de maior simplicidade, como os de chumbo, Freyssinet e Mesnager.

Além de falhas nas articulações, os pontos de concentração de tensões também podem surgir por deficiências na execução (Figura 4.7 (a)).

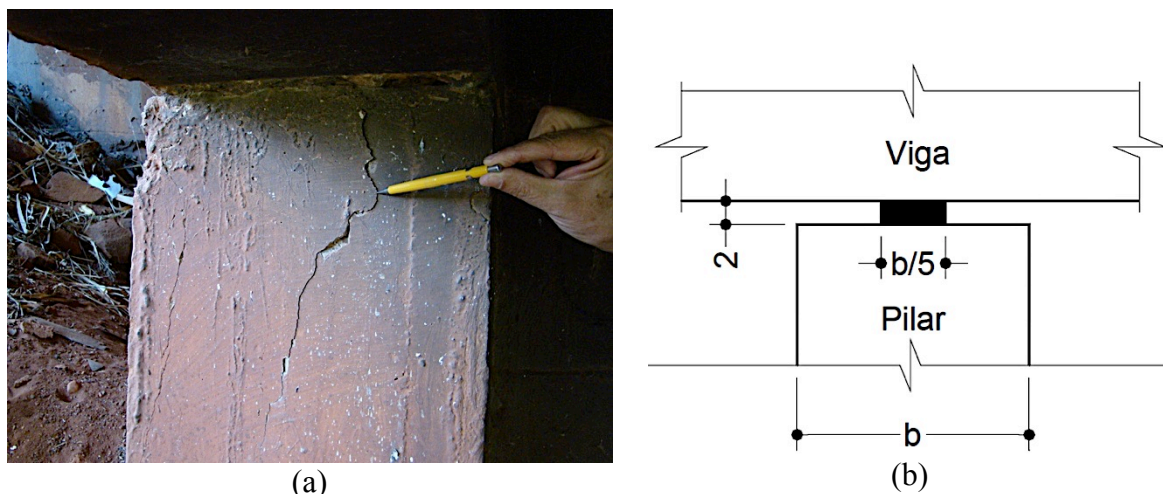


Figura 4.7 - Fissura causada por concentração de tensões no topo do pilar: (a) fissura no topo do pilar; (b) esquema longitudinal de uma articulação Freyssinet (DNIT, 2004b).

A ponte mostrada, à qual pertence o pilar da Figura 4.7 (a), tem seção transversal composta por duas vigas contínuas em concreto armado, unidas transversalmente pela laje e por transversinas de concreto armado. A superestrutura se apoia em articulações do tipo *Freyssinet*, cujo esquema longitudinal é mostrado na Figura 4.7 (b). Além das deformações elásticas, que são recuperadas após a remoção da carga, as estruturas de concreto estão sujeitas a deformações ao longo do tempo por retração e por fluência, sendo as duas relacionadas à remoção de água fisicamente adsorvida ao C-S-H<sup>13</sup>. A diferença entre os dois mecanismos é que na retração a força motriz de remoção da água é a diferença de umidade entre o concreto e o ambiente, e na fluência é uma tensão constante aplicada (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

O espaço entre a viga e o pilar, mostrado na Figura 4.7 (b), deve ser suficiente para acomodar as rotações em torno da articulação, tanto as imediatas quanto as diferidas no tempo. Assim, um agregado saliente no topo do pilar pode se colocar como uma obstrução à livre rotação da articulação, dando origem a um ponto de concentração de tensões Figura 4.7 (a). Felizmente esses danos são em sua grande maioria facilmente identificáveis e de solução fácil e imediata.

<sup>13</sup> Silicato de cálcio hidratado.



A movimentação não prevista de uma estrutura, durante ou após a sua construção, pode reduzir a seção de contato entre elementos da estrutura, provocando o aumento da tensão a níveis não suportados pelos materiais (Figura 4.8).



Figura 4.8 - Deslocamento da superestrutura em relação à mesoestrutura: (a) detalhe do topo do pilar rompido por concentração de tensões; (b) vista inferior do local mostrando o local original do aparelho de apoio.

#### 4.2.4. Biodeterioração do concreto

Um dos mais recentes mecanismos de deterioração do concreto estudados, a biodeterioração pode resultar em danos menos intensos, influenciando apenas em aspectos estéticos, ou em danos mais intensos, implicando na destruição do material. São quatro os mecanismos mais comuns: formação de biofilme, ataque ácido, tensão de sais e a complexação. O ataque ácido e a complexação envolvem a dissolução com ou sem o posterior carreamento de compostos do concreto. A tensão de sais envolve a formação de sais no interior do concreto que podem gerar um estado de tensões. (SILVA e PINHEIRO, 2005).

Esses três mecanismos (ataque ácido, tensão de sais e complexação) não são identificáveis em uma inspeção visual. No entanto a formação do biofilme, que ocorre pela ação de microrganismos vivos na presença de água, se apresenta no exterior por meio de manchas. Além do efeito estético, o biofilme altera a hidrofobicidade e a carga elétrica superficial, podendo também criar microambientes com concentrações de pH e de oxigênio diferenciadas (SILVA e PINHEIRO, 2005). Como a presença de água é fundamental para a formação do biofilme, uma boa drenagem das OAEs se mostra um meio eficiente de se combater a formação de manchas.

Em situações favoráveis, como no caso de rampas com declividade superior a 2% e comprimento inferior 50m, a drenagem do tabuleiro pode ser feita apenas pela captação localizada no extremo mais baixo da OAE. Por outro lado, em situações desfavoráveis ou em estruturas muito extensas, devem ser previstos elementos de captação de água instalados sobre o tabuleiro, também conhecidos como drenos. Em qualquer dos dois casos a água deve percorrer o caminho até o ponto de captação sem que percole pelo tabuleiro, mesmo nos pontos onde haja juntas de dilatação (DNER, 1996).

A falha do selante de uma junta de dilatação permitiu a passagem da água pela junta, propiciando o ambiente para a formação de manchas e de plantas ao redor do aparelho de apoio de um dente gerber, conforme mostrado na Figura 4.9 (a).



Figura 4.9 - Manchas no concreto: (a) junta de dilatação com selante danificado; (b) dreno descarregando água ao longo da altura da viga.

Nos casos de obras sobre cursos d'água, os elementos de captação instalados sobre tabuleiro devem promover a descarga direta sobre a água ou terreno natural protegido contra a erosão. Nos outros casos, como em obras urbanas, a drenagem deve ser realizada por meio de prumadas, geralmente instaladas próximas aos pilares. O dreno mostrado na Figura 4.9 (b) descarrega a água ao longo da altura da viga, propiciando o ambiente para a formação de manchas.

#### 4.2.5. Falhas de concretagem

Geralmente atribuídas à etapa de execução, as falhas de concretagem<sup>14</sup> são danos que afetam as propriedades finais do concreto, tais como a sua aparência final, resistência a compressão, módulo de elasticidade e até mesmo a retração. Entretanto, antes do lançamento do concreto nas fôrmas há muitas oportunidades de se intervir na prevenção desse dano, que vão desde a definição das dimensões dos elementos estruturais e do detalhamento das armaduras, passando pela dosagem adequada do concreto, até a execução do transporte, lançamento, adensamento e as operações finais conforme previstos na etapa de dosagem. (LARRARD, 1999; SOUZA e RIPPER, 1999)

Além das propriedades do concreto no estado endurecido, uma propriedade importante no estado fresco deve ser levada em consideração durante os estudos de dosagem: a trabalhabilidade. Pode-se dizer que a trabalhabilidade é uma propriedade que contém dois componentes principais, que são a fluidez (facilidade de mobilidade) e a coesão (resistência à exsudação e à segregação). A mobilidade em um determinado tipo de elemento estrutural pode não ser a mesma para outro, principalmente por causa dos espaços deixados pelas armaduras para a passagem do concreto, e a coesão também pode se mostrar distinta em função do equipamento utilizado no adensamento (ACI, 2005; MEHTA e MONTEIRO, 2008; ACI, 2008a; ACI 2008b). A Figura 4.10 mostra situações em que os concretos não possuíam a trabalhabilidade adequada.

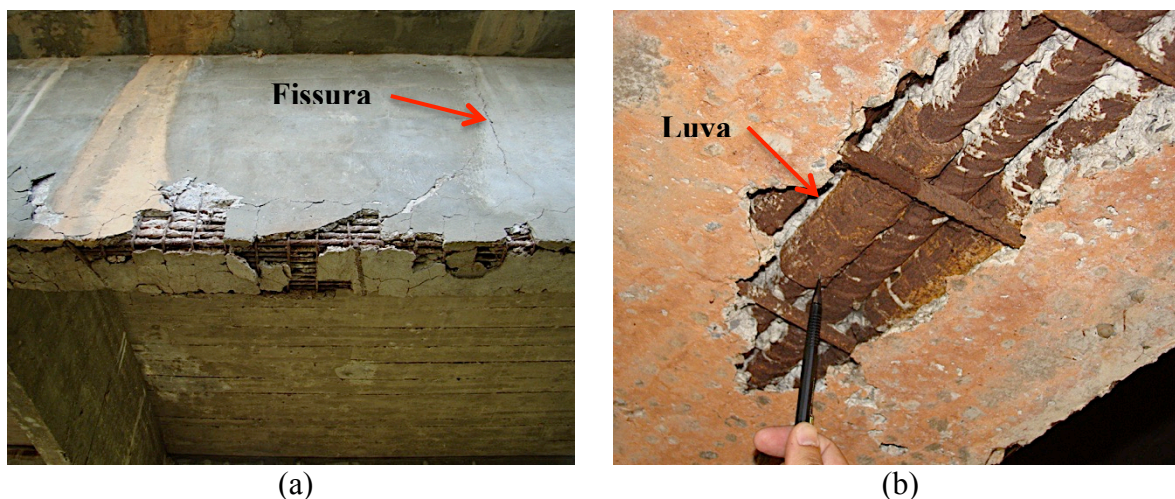


Figura 4.10 - Falhas de concretagem: (a) falha de concretagem e fissura transversal ao longo de toda a altura da viga; (b) luva obstruindo a passagem do concreto.

<sup>14</sup> As falhas de concretagem podem ser entendidas como todos os danos oriundos das etapas de transporte, lançamento e adensamento, tais como a segregação de materiais e os vazios ou ninhos de concretagem.

A Figura 4.10 (a) mostra uma situação em que o concreto não possuía a trabalhabilidade compatível com a densidade da armadura e com os equipamentos utilizados no adensamento. Nota-se que o enfraquecimento da seção foi significativo, uma vez que surgiu uma fissura ao longo de toda a altura da viga. Já na Figura 4.10 (b) a obstrução à passagem do concreto se deu pela luva.

#### 4.2.6. Desagregação do concreto

O ataque dos produtos de hidratação do cimento por sulfatos e por alguns ácidos, como o sulfúrico, clorídrico, acético e nítrico, fazem com que a pasta de cimento perca a sua capacidade aglomerante, deixando os agregados livres da união que a pasta lhes proporciona, transformando o concreto em uma massa sem resistência. Por consequência são alteradas as propriedades do concreto endurecido (CÁNOVAS, 1988; RIBEIRO e CUNHA, 2014).

Cánovas (1988) utiliza o termo “disgregação” para descrever outra forma de perda de união das fases do concreto. Nesse caso, esforços internos dão lugar a tensões de tração que o concreto pode não estar preparado para suportar, e nesse caso, surgem fissuras que podem se cruzar, fazendo com que o concreto entre elas se solte. A Figura 4.11 (a) mostra parte inferior de uma laje onde as partes do concreto estão soltas, mas estão íntegras, mostrando que as rupturas foram causadas pelos esforços externos. Na mesma figura se vê uma camada de revestimento, indicando que houve uma tentativa anterior de reparação do dano.



Figura 4.11 - Disgregação do concreto: (a) vista inferior da laje com partes íntegras do concreto soltas; (b) vista superior do local.

Danos como este são facilmente identificáveis quando são realizadas campanhas regulares de inspeção, uma vez que a simples observação da parte superior da pista só aponta a existência de irregularidades quando não é mais possível uma ação preventiva, tornando inevitável a limitação do tráfego ou a interdição completa da pista naquele ponto Figura 4.11 (b).

## 5. METODOLOGIA

Para o cumprimento total dos objetivos propostos neste trabalho, se faz necessário o estabelecimento de uma metodologia a ser adotada durante a pesquisa. O estabelecimento da presente metodologia levou em consideração as particularidades do trabalho de inspeção de OAEs e as particularidades das duas metodologias de inspeção que serão estudadas neste trabalho. Assim, as etapas são descritas na Figura 5.1.

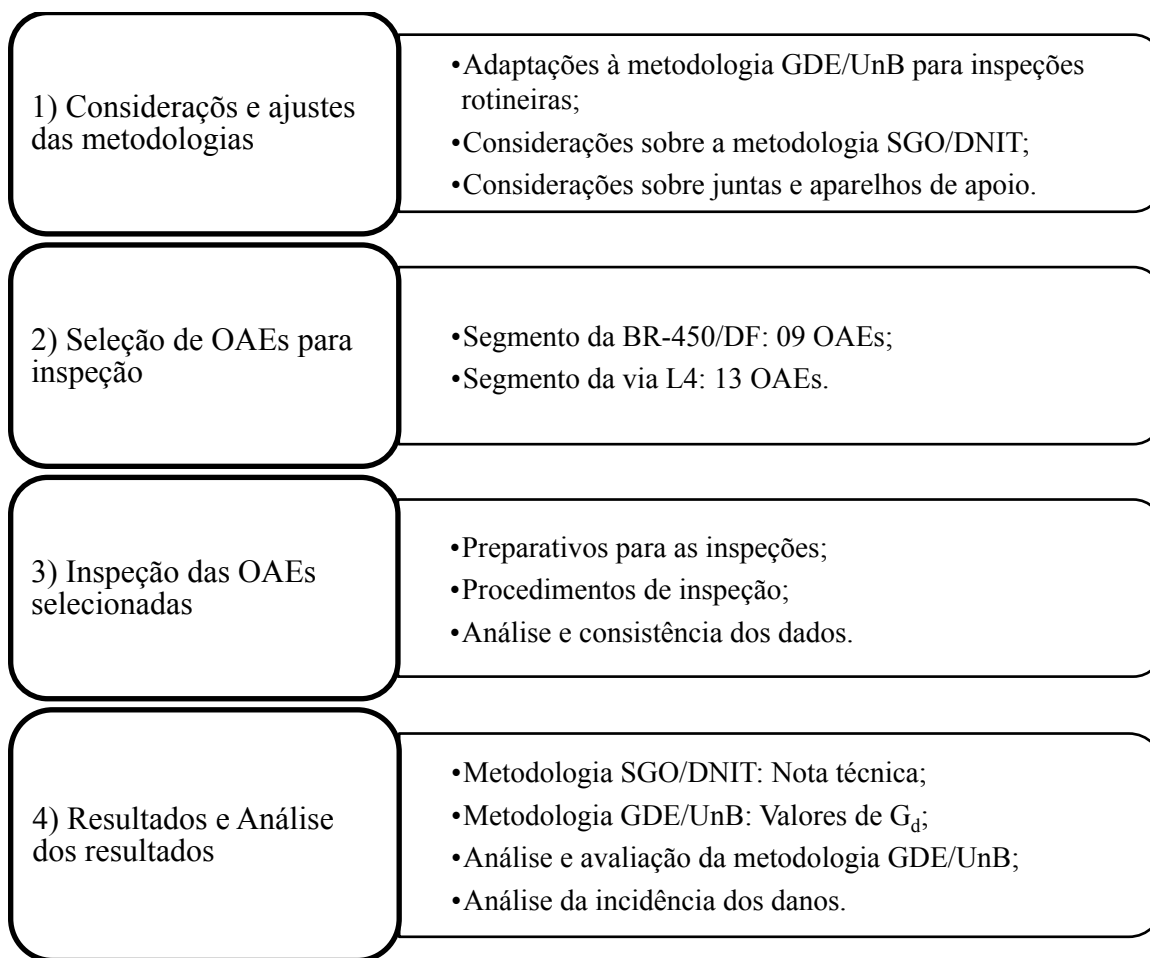


Figura 5.1 - Fluxograma da metodologia adotada neste estudo.

### 5.1. CONSIDERAÇÕES E AJUSTES DAS METODOLOGIAS

#### 5.1.1. Adaptações à metodologia GDE/UnB para inspeções rotineiras de OAEs

A metodologia GDE/UnB foi desenvolvida inicialmente por Castro (1994) para a avaliação de edificações, no entanto teve como base uma metodologia de avaliação de OAEs proposta por Klein et al. (1991). Euqeres (2011) adaptou e aplicou a metodologia

GDE/UnB em 11 OAEs do estado de Goiás, concluindo que a metodologia adaptada apresenta limitações para pontes com mais de 70m (setenta metros), devido à dificuldade em conseguir contato visual com todos os elementos da OAE. No entanto afirma que a metodologia se aplica para uma avaliação preliminar dos elementos visíveis.

De acordo com DNIT (2004c) as inspeções rotineiras são definidas da seguinte forma:

As Inspeções Rotineiras são periódicas, habitualmente realizadas a cada dois anos, nessas inspeções deve ser **verificada visualmente** a evolução de falhas detectadas em inspeção anterior, bem como anotados novos defeitos e ocorrências, tais como reparos, reforços, recuperações e qualquer modificação de projeto, realizadas no período. As Inspeções Rotineiras devem registrar os **defeitos visualizados no exterior das estruturas**; as avaliações de alinhamento, prumo e deformações podem ser **feitas visualmente**. (DNIT, 2004c, grifo nosso)

A definição de inspeção rotineira adotada pelo DNIT deixa claro que se trata de uma inspeção simplesmente visual, em que são identificados os danos existentes na estrutura. Tal definição corrobora com as conclusões de Euqueres (2011), e indica que os procedimentos utilizados pelas duas metodologias são semelhantes, ou seja, basicamente visuais.

As fichas de inspeção utilizadas pela metodologia GDE/UnB (Tabela 3.5) diferem de um elemento estrutural para outro. As diferenças se devem aos danos relacionados nas fichas e aos valores de  $F_p$  atribuídos para cada um desses danos<sup>15</sup>. O preenchimento dessas fichas foi feito com base nas orientações do *Roteiro de inspeção de pontes de concreto armado* (EUQUERES, 2011), que possui fotos, recomendações e croquis que orientam na seleção dos valores de  $F_i$  e de  $F_p$ . No entanto, há alguns danos elencados nas fichas, tais como a carbonatação e a contaminação por cloretos, que não podem ser detectados visualmente, uma vez que necessitam que sejam coletadas amostras ou removida uma parte do concreto de cobertura. Diante dessas restrições, e por se tratar de inspeções rotineiras, foram avaliados apenas os danos que puderam ser detectados visualmente.

A Tabela 3.10 apresenta as famílias de elementos utilizadas por Euqueres (2011) e os respectivos valores de  $F_r$ . Uma das características da metodologia é possibilidade de inclusão de novas famílias ou a divisão em subfamílias, caso se entenda necessário. Na presente pesquisa, foram incluídas duas famílias: travessas e transversinas. Entendeu-se

---

<sup>15</sup> Exceto para as fissuras, os valores de  $F_p$  não variam para um mesmo tipo de elemento.

que as travessas, por receberem o carregamento direto das vigas, deveriam possuir o mesmo valor de  $F_r$ , ou seja, cinco. Às transversinas foi atribuído o valor de  $F_r$  igual a 3.

Conforme relatado em 3.3.3, Euqueres (2011) aplicou a metodologia GDE/UnB com uma alteração no cálculo do valor do  $G_{df}$ , considerando para tal todos os valores de  $G_{de}$ , e não apenas os valores maiores que 15, conforme as pesquisas anteriores sobre a referida metodologia. No presente trabalho foram feitos os cálculos das duas formas, considerando e não considerando valores de  $G_{de}$  menores que 15 no cálculo de  $G_{df}$ .

### **5.1.2. Considerações sobre a metodologia do DNIT**

A metodologia utilizada para avaliação de OAEs pelo DNIT está amplamente descrita em manuais e norma daquela autarquia (DNIT, 2004a, 2004b, 2004c). No entanto, cabem alguns comentários de ordem prática no que se refere à aplicação da metodologia.

A metodologia utilizada pelo DNIT foi aplicada nesta pesquisa sem alterações em relação à sua documentação de referência ou às práticas de avaliação atualmente em uso pela autarquia. Em DNIT (2004a) pode ser encontrada uma relação com os tipos de danos de OAEs a serem observados durante as inspeções. Entretanto, nela não constam alguns dos tipos de danos encontrados com certa frequência em estruturas de concreto armado, como as falhas de concretagem, manchas ou danos em aparelhos de apoio e articulações.

A falha de concretagem, também classificada com outras denominações semelhantes, como vazio de concretagem ou ninho de concretagem, é descrita em DNIT (2004a) em duas oportunidades. Na primeira é descrita como uma das falhas construtivas responsáveis pelo deslocamento, e conseqüentemente da deterioração das estruturas de concreto. Na segunda quando é descrito o processo de deterioração de estruturas denominada “vazio de concretagem”. Mesmo sendo abordada em DNIT (2004a), esse dano não consta na relação de tipos de danos, e atualmente é lançada no sistema SGO no campo destinado às observações, não influenciando na nota técnica da OAE.

Neste trabalho, as falhas de concretagem serão avaliadas pela metodologia do DNIT indiretamente, de acordo com as suas conseqüências quanto ao comprometimento da estrutura, utilizando para isso outros danos existentes na lista, como, por exemplo, armadura sem cobrimento.



### 5.1.3. Considerações sobre juntas e aparelhos de apoio

A impossibilidade de se identificarem os aparelhos de apoio em alguns casos, seja por dificuldade de acesso, seja pelo fato dos aparelhos de apoio estarem cobertos por argamassa, concreto ou madeira<sup>16</sup>, impede sua avaliação. Nesse caso, esse impedimento é lançado no sistema SGO como uma deficiência, de forma a permitir que filtros do sistema selecionem as OAEs que possuem aparelhos de apoio sem identificação e avaliação para serem objeto de uma inspeção especial (Figura 5.2 (a)).



Figura 5.2 - Elementos encobertos: (a) aparelho de apoio coberto por concreto; (b) junta cobertas pelo pavimento.

O mesmo ocorre com as juntas, que muitas vezes são cobertas pelo material de revestimento da pista, impossibilitando sua identificação e conseqüentemente sua avaliação (Figura 5.2 (b)). No presente trabalho, não foi possível a avaliação dos aparelhos de apoio e das juntas por nenhuma das duas metodologias estudadas, uma vez que não foi possível o contato visual com esses elementos.

## 5.2. SELEÇÃO DAS OAEs PARA AS INSPEÇÕES

Foram inspecionadas 22 OAEs em operação no Distrito Federal, que podem ser divididas em dois grupos. O primeiro grupo contém nove OAEs, localizadas na BR-450/DF, e segundo grupo contém 13 OAEs, localizadas na via L4. Todas as estruturas estão

---

<sup>16</sup> Materiais utilizados apenas durante o processo construtivo para a execução dos aparelhos de apoio e articulações, e que devem ser removidos após o término das obras, mas nem sempre o são.

localizadas na região metropolitana de Brasília e estão atualmente sob a administração do DER/DF (Tabela 5.1).

A divisão dos trabalhos por segmentos ou trechos de rodovia é uma prática comum no estabelecimento dos lotes, sejam eles de estudos ou de serviços, mesmo no caso de OAEs, que são estruturas de pequenas extensões se comparadas às rodovias onde estão inseridas. Seguindo esse critério, as estruturas inspecionadas estão inseridas em dois segmentos distintos de pista: um segmento na BR-450/DF e outro segmento na via L4.

O grupo de estruturas selecionadas se mostra satisfatoriamente diverso em termos de sistemas estruturais, contendo superestruturas em laje, vigas moldadas no local, vigas pré-moldadas e obras que já passaram por intervenções de alargamento.

Tabela 5.1 - Relação das OAEs selecionadas para inspeção com a indicação do código adotado, a rodovia ou a via e as coordenadas cartográficas S (sul) e O (oeste)

Código	Rodovia ou via	Nome	S	O
OAE-01	450	Viaduto sobre Rodovia	15°41'19.74"	47°51'39.54"
OAE-02	450	Ponte sobre o ribeirão Torto - LD	15°42'24.18"	47°53'31.14"
OAE-03	450	Ponte sobre o ribeirão Torto - LE	15°42'26.18"	47°53'31.42"
OAE-04	450	Viaduto sobre a rodovia	15°42'45.00"	47°53'57.12"
OAE-05	450	Viaduto sobre a rodovia	15°42'50.04"	47°54'2.22"
OAE-06	450	Ponte sobre o ribeirão Bananal - LD	15°43'41.58"	47°54'35.47"
OAE-07	450	Ponte sobre o ribeirão Bananal - LE	15°43'43.67"	47°54'34.34"
OAE-08	450	Viaduto sobre ruas - LD	15°45'25.71"	47°55'40.46"
OAE-09	450	Viaduto sobre ruas - LE	15°45'28.34"	47°55'39.53"
OAE-10	L4	V01	15°50'9.43"	47°53'58.99"
OAE-11	L4	V02	15°50'8.25"	47°53'59.41"
OAE-12	L4	V03	15°49'10.17"	47°52'46.57"
OAE-13	L4	V04	15°49'8.97"	47°52'47.30"
OAE-14	L4	V05	15°48'19.00"	47°51'15.04"
OAE-15	L4	V06	15°48'17.96"	47°51'15.71"
OAE-16	L4	V07	15°48'9.39"	47°51'2.04"
OAE-17	L4	V08	15°48'9.82"	47°51'3.70"
OAE-18	L4	V09	15°48'7.22"	47°50'57.65"
OAE-19	L4	V10	15°47'47.76"	47°51'14.97"
OAE-20	L4	V11	15°47'34.93"	47°51'27.74"
OAE-21	L4	V12	15°46'31.85"	47°51'50.81"
OAE-22	L4	V13	15°46'31.93"	47°51'51.26"

### 5.3. INSPEÇÃO NAS OAEs SELECIONADAS

#### 5.3.1. Preparativos para as inspeções

Conforme DNIT (2004b), o sucesso de uma inspeção é garantido pelos seus preparativos, que devem contemplar a coleta dos dados existentes sobre as estruturas, a identificação dos seus elementos e o estabelecimento de uma sequência de inspeção. As estruturas da BR-450/DF se encontram cadastradas no SGO, e as informações contidas no sistema foram utilizadas para a programação das inspeções. No grupo das nove OAEs inspecionadas nessa rodovia, apenas quatro são pontes, no entanto, devido à pequena largura dos cursos d'água, não foi necessário o uso de embarcações para a inspeção. As informações sobre as OAEs da Via L4 foram coletadas no DER/DF.

Além das informações sobre as OAEs, o DER/DF forneceu apoio de equipes de inspetores e de agentes de trânsito, que providenciaram as medidas preventivas de segurança, por meio da interdição de faixas de tráfego durante as vistorias. A Figura 5.3 mostra a interdição de uma das faixas de tráfego para a inspeção dos pilares próximos à pista.



Figura 5.3 - Interdição de faixa de tráfego por Agentes de Trânsito do DER/DF.

A identificação dos elementos e o estabelecimento da sequência de inspeção foram feitos para cada OAE, levando-se em consideração o entorno das OAEs, as condições de acesso aos elementos da superestrutura e da mesoestrutura, e as condições de tráfego da região.

A inspeção rotineira deve ser precedida de uma inspeção cadastral, em que são coletadas todas as informações da estrutura, inclusive suas dimensões, sua localização, relação dos elementos estruturais e outras. As informações contidas no SGO e as informações

coletadas no DER/DF foram suficiente para a localização das estruturas e a identificação de seus elementos estruturais, não sendo necessários portanto a realização de inspeções cadastrais das estruturas selecionadas para este trabalho.

### **5.3.2. Procedimentos de inspeção**

As inspeções foram executadas de forma que as estruturas fossem avaliadas por duas metodologias com critérios de avaliação distintos, cada uma das metodologias foi aplicada conforme sua respectiva documentação de referência. Dessa forma, a avaliação feita pela metodologia do DNIT foi realizada conforme os documentos que se encontram em utilização naquela Autarquia e está descrita em DNIT (2004a), DNIT (2004b) e DNIT (2004c).

A metodologia GDE/UnB utiliza um documento de referência, que em sua última atualização, feita por Euqeres (2011), passou a se chamar Roteiro de inspeção de pontes de concreto armado. Tendo em vista a recente atualização da NBR 6118:2014 e contribuições advindas da análise dos resultados feita na presente pesquisa, foi feita nova revisão no referido documento, o qual passou a se chamar *Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB em OAEs* (APÊNDICE B). A definição dos valores de  $F_i$  e os cálculos realizados para a determinação do  $G_d$  foram feitas conforme as orientações contidas em Euqeres (2011).

A equipe empregada nas inspeções foi composta por dois engenheiros, um técnico e dois agentes de trânsito. As inspeções se iniciaram pela identificação da OAE e pelo deslocamento até o local, onde os agentes de trânsito faziam a sinalização do local e por vezes interditavam faixas de tráfego para a segurança da equipe de inspeção. Para que as interdições de faixas de tráfego tivessem um menor impacto no tráfego local, as inspeções foram realizadas nos horários de menor circulação de veículos, ou seja, entre 10h e 15h.

Para facilitar a coleta dos dados, foram usadas fichas específicas para as duas metodologias, sendo usados formulários em papel e planilhas eletrônicas carregadas em um *tablet*. Os equipamentos usados nas inspeções foram os seguintes:

- Câmera fotográfica digital;
- Trena metálica com sensibilidade de 0,5 mm;
- Fissurômetro;

- *Tablet* para realização de anotações e consultas; e
- Prancheta para elaboração de croquis e anotações.

### **5.3.3. Análise e consistência dos dados**

Os dados coletados durante as inspeções foram analisados e passaram por um processo de consistência antes da elaboração das fichas finais com as respectivas avaliações. Esse processo consiste em uma análise dos dados coletados em campo, buscando incoerências nas atribuições das *notas técnicas* e dos *fatores de intensidade* aos danos das diversas OAEs inspecionadas. As fichas finais foram elaboradas com base nos modelos apresentados em DNIT (2004a) e em Euqueres (2011).

## **5.4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS**

Após a realização das inspeções e da consistência dos dados coletados, as estruturas foram avaliadas pelas duas metodologias estudadas nesta pesquisa.

### **5.4.1. Determinação da nota técnica pela metodologia SGO/DNIT**

A metodologia atualmente utilizada pelo DNIT avalia as estruturas de acordo com a sua condição de estabilidade, representada por um *nota técnica*. A avaliação se inicia pelos elementos da OAE, que são avaliados de acordo com os danos detectados e se esses danos estão gerando ou não insuficiências estruturais. A *nota técnica* da estrutura é a mesma obtida pelo elemento com função estrutural que apresentar a menor nota técnica individual.

### **5.4.2. Determinação do grau de deterioração das estruturas ( $G_d$ ) pela metodologia GDE/UnB**

A metodologia GDE/UnB avalia a estrutura de acordo com o seu *grau de deterioração*. A avaliação se inicia pela inspeção, em que são obtidos o *fator de intensidade do dano* ( $f_i$ ) e o *fator de ponderação do dano* ( $f_p$ ). Esses valores são utilizados para os cálculos descritos no item 3.3.

A proposta original da metodologia, feita por Castro (1994) previa a utilização apenas de valores de  $G_{de}$  acima de 15, e a última aplicação da metodologia, realizada por Euqueres (2011), utilizou todos os valores de  $G_{de}$ . Em função das divergências nos procedimentos para o cálculo do  $G_d$ , foram avaliados os resultados obtidos pela metodologia GDE/UnB com e sem a consideração de valores de  $G_{de}$  abaixo de 15.

#### **5.4.3. Análise e avaliação da metodologia GDE/UnB**

Após a avaliação do valor mínimo do  $G_{de}$ , os resultados obtidos e a formulação da metodologia GDE/UnB foram analisados quanto à sua utilização como ferramenta de tomada de decisão, ou seja, de priorização das estruturas para a aplicação de recursos. Foram feitas simulações de intervenções nas estruturas e observadas as implicações no *grau de deterioração* das estruturas.

#### **5.4.4. Análise da incidência dos danos**

Para a avaliação das estruturas pelas duas metodologias estudadas, se fez necessária a procura por danos identificáveis visualmente. Esses danos foram divididos por tipos, o que permitiu a identificação dos danos mais frequentes nas OAEs inspecionadas. Os danos mais frequentes foram avaliados individualmente quanto às famílias onde mais ocorreram.

## 6. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados das avaliações feitas com base em dados coletados em inspeções rotineiras realizadas em OAEs da região de Brasília. Na Tabela 6.1 são apresentados os resultados das 22 avaliações, que estão expressos por notas técnicas, resultantes da avaliação pela metodologia do DNIT, e pelos graus de deterioração -  $G_d$ , resultantes da avaliação pela metodologia GDE/UnB. O APÊNDICE A contém a listagem de todos os danos encontrados nas 22 OAEs inspecionadas, com os respectivos valores de  $F_p$  e  $F_i$  atribuídos.

Tabela 6.1 - Resultados experimentais pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Estrutura	DNIT	GDE/UnB	
	Nota Técnica	$G_d$	$G_d^*$
OAE-01	3	31,24	30,12
OAE-02	3	65,88	40,02
OAE-03	3	49,24	42,43
OAE-04	3	62,70	25,64
OAE-05	3	77,58	36,20
OAE-06	3	84,53	50,23
OAE-07	3	50,87	42,34
OAE-08	3	60,00	35,18
OAE-09	3	59,38	39,18
OAE-10	3	68,68	68,74
OAE-11	2	121,25	121,25
OAE-12	2	130,03	130,23
OAE-13	2	103,25	104,99
OAE-14	3	31,90	21,61
OAE-15	3	41,23	28,02
OAE-16	2	94,96	69,44
OAE-17	2	106,49	106,59
OAE-18	3	62,14	51,42
OAE-19	3	37,02	30,89
OAE-20	3	55,85	30,58
OAE-21	4	48,44	25,18
OAE-22	4	49,39	29,49

$G_d$ : grau de deterioração da estrutura considerando apenas valores de  $G_{de}$  maiores ou iguais a 15.

$G_d^*$ : grau de deterioração da estrutura considerando todos os valores de  $G_{de}$ .

Com o objetivo de evitar repetições e carregar demasiadamente o conteúdo deste capítulo, serão aqui apresentados os resultados detalhados da OAE-01 e os resultados resumidos das demais OAEs.

## 6.1. RESULTADOS DA OAE-01

Todas as OAEs foram objeto de inspeções rotineiras realizadas no mês de janeiro de 2015 e passaram por análises feitas pelas duas metodologias estudadas no presente trabalho. Inicialmente serão apresentadas as principais características da OAE em análise, mostrada na Figura 6.1, e nos itens 6.1.1 e 6.1.2 serão apresentadas as avaliações pela metodologia do DNIT e GDE/UnB, respectivamente.



Figura 6.1 - Vista da OAE-01, viaduto em curva sobre a BR-450/DF.

Trata-se de um viaduto localizado em um trecho em curva sobre a BR-450/DF, com a seção transversal formada por vigas longitudinais em concreto armado, ligadas transversalmente pela laje e pelas transversinas portantes. O conjunto da superestrutura se apoia diretamente sobre pilares isolados em concreto armado que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas.

### 6.1.1. Resultados pela metodologia DNIT

Conforme apresentado no item 3.2 deste trabalho, a análise da estrutura pela metodologia do DNIT se inicia pela identificação dos danos presentes em cada elemento da estrutura, sendo atribuída a este uma nota técnica, conforme a Tabela 3.3. À estrutura como um todo também é atribuída uma nota técnica, que corresponde à avaliação do elemento, com função estrutural, que recebeu a menor nota técnica.

Na Figura 6.2 é mostrada a ficha de dados cadastrais da OAE-01. Nela são encontrados os dados necessários à identificação da estrutura, como coordenadas, dimensões, a rodovia e os elementos padrões que constituem a estrutura.



## FICHA DE DADOS CADASTRAIS

### 1. DADOS BÁSICOS

Código: <b>OAE-01</b>	<b>Viaduto sobre a rodovia</b>	<b>BR-450/DF</b>
<b>Viaduto s/rodov / Vg e Laje Metal / Premol Prot Pos</b>		<b>km 0,2</b>
Extensão (m):	<b>52,60</b>	Administrador: <b>DER/DF</b>
Largura (m):	<b>13,38</b>	Doc. Projetos: <b>Não localizado</b>
Trem-Tipo:	-	Doc. Construção: <b>Não localizado</b>
Projetista:	<b>Não localizado</b>	Doc. Diversos: <b>Não localizado</b>
Construtor:	<b>Não localizado</b>	Trecho PNV: <b>450BDF0010</b>
Ano Construção	-	Coordenadas (GPS): <b>S 15°41'19.74"</b>
Data de Cadastramento:		<b>W 47°51'39.54"</b>

### 2. ELEMENTOS PADRÕES COMPONENTES DA OAE

- 1 Laje de concreto armado
- 104 Viga T ou I de concreto armado
- 109 Transversina portante de concreto armado
- 202 Pilar em colunas de concreto armado
- 255 Encontro - Cortina de concreto armado
- 801 Pavimento asfáltico
- 803 Barreira new jersey
- 806 Guarda corpo de concreto armado
- 808 Calçada para pedestres de concreto armado
- 810 Laje de aproximação
- 811 Aterro de acesso
- 817 Revestimento de talude em concreto

Figura 6.2 - Ficha de dados cadastrais da OAE-01

Observa-se que a ficha mostrada na Figura 6.2 contém menos informações que a mesma versão da ficha gerada pelo SGO, onde constam ainda informações acerca das características funcionais, programação das inspeções, deficiências funcionais, rotas alternativas e aspectos especiais (DNIT, 2004a).

Além dos dados para a identificação da OAE, a ficha de dados cadastrais contém a relação dos elementos padrões existentes na estrutura, e é com base nessa relação de elementos que a inspeção rotineira é realizada. Após a realização da inspeção rotineira é realizada a revisão e consistência dos dados, em que possíveis falhas de avaliação são detectadas, e posteriormente as informações são inseridas no sistema de gestão. A Figura 6.3 mostra a ficha de inspeção rotineira da OAE-01.

## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA

1. IDENTIFICAÇÃO			
Código: <b>OAE-01</b>	<b>Viaduto sobre a rodovia</b>	<b>BR-450/DF</b>	
Data da inspeção: <b>12/01/15</b>	Inspetor: <b>Rogério Calazans Verly</b>		

2. CONDIÇÕES	
Condições de estabilidade:	<b>Boa</b>
Condições de conservação:	<b>Não informado</b>
Observações:	

3. DANOS NOS ELEMENTOS			
Elemento	Nota	Dano	Localização
Laje de concreto armado	4	Lixiviação e mancha de carbonatação	38, 39, 41, 47, 70
Laje de concreto armado	3	Fissura profunda aberta (w > 0,3 mm)	33 a 48
Viga T ou I de concreto armado	4	Fissura superficial	Próximo à linha de apoio central
Viga T ou I de concreto armado	4	Ferragem principal exposta em pontos localizadas	V01
Transversina portante de concreto armado	4	Armadura sem cobrimento	T01
Pilar em colunas de concreto armado	3	Fissura superficial	P1, P3
Encontro - Cortina de concreto armado	4	Lixiviação e mancha de carbonatação	C1 e C2
Barreira new jersey	3	Fissura profunda aberta (w > 0,3 mm)	B01 e B02

4. INSUFICIÊNCIAS ESTRUTURAIS NOS ELEMENTOS			
Elemento	Nota	Insuficiência	Causa provável
Laje de concreto armado	3	Trinca ou fissura de grande abertura	Causa não informada
Pilar em colunas de concreto armado	3	Trinca ou fissura de grande abertura	Causa não informada
Barreira new jersey	3	Trinca ou fissura de grande abertura	Causa não informada

Figura 6.3 - Ficha de inspeção rotineira da OAE-01

De acordo com a Figura 6.3, nas vigas de concreto armado, transversinas e encontros foram detectados danos, mas não há sinais de que eles estejam gerando insuficiência estrutural, o que, de acordo com a Tabela 3.3, remete à nota técnica 4. A Figura 6.4 (a) mostra um trecho da laje com eflorescência e manchas, ambas provocadas pela percolação de água através da laje. No primeiro caso, os materiais solúveis carreados se depositaram na superfície da laje, e no segundo caso, as manchas foram provocadas pela umidade proveniente dessa mesma água percolada.

Na Figura 6.4 (b) é mostrada uma falha de concretagem que deixou a armadura principal da viga exposta, propiciando a corrosão da mesma. Apesar de serem danos que comprometem a durabilidade da OAE, a metodologia do DNIT não os considera insuficiências estruturais, portanto sua nota técnica foi 4. Já no caso das fissuras encontradas na laje (Figura 6.5 (a)) e na barreira New Jersey (Figura 6.5 (b)), por serem excessivas, são consideradas insuficiências estruturais e por isso receberiam uma nota técnica menor ou igual a 3. Como não há sinais de que essas insuficiências estruturais não

estão comprometendo a estabilidade da estrutura, a nota técnica atribuída a esses elementos foi 3.



Figura 6.4 - Danos na laje e na viga da OAE-01. (a) Mancha, fissura e eflorescência na laje; (b) falha de concretagem deixando a armadura da viga sem cobertura.

Em DNIT (2004a) pode ser encontrada uma extensa relação dos tipos de danos, causas prováveis e das insuficiências estruturais previstos para as OAEs.



Figura 6.5 - Danos detectados na laje e na barreira da OAE-01. (a) Fissura na laje; (b) Fissura na barreira New Jersey.

A nota técnica é o produto final da inspeção rotineira pela metodologia do DNIT, e no presente caso a OAE-01 obteve a nota técnica 3, uma vez que é a menor nota técnica obtida pelos elementos com função estrutural. De acordo com a Tabela 3.3, a condição de estabilidade é “boa ou boa aparentemente”, e a classificação das condições estruturais da OAE é “obra potencialmente problemática”. Portanto, a recomendação é que a recuperação pode ser postergada, mas que a obra seja colocada em observação.

### 6.1.2. Resultados pela metodologia GDE/UnB

Conforme apresentado no item 3.3 deste trabalho, a análise da estrutura pela metodologia GDE/UnB se inicia pela identificação dos danos e atribuição dos respectivos fatores de intensidade, seguida de uma série de cálculos que culminarão em um valor numérico.

A Tabela 6.2 apresenta os resultados da avaliação da OAE-01 pela metodologia GDE/UnB.

Tabela 6.2 - Resultado do cálculo do  $G_d$  para a OAE-01 pela metodologia GDE/UnB

Família	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	5	26,18	32,07
Vigas	5	24,38	24,38
Travessas	5	0,00	0,00
Transversinas	3	25,50	25,50
Lajes	4	9,96	0,00
Cortinas e alas	3	36,75	42,68
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	1	36,17	44,30
	$G_d$		31,24

Na coluna  $G_{df}$  são observados dois valores nulos, referentes às famílias *Travessas* e *Lajes*. No primeiro caso o valor nulo ocorreu pela inexistência desses elementos na estrutura, uma vez que as vigas se apoiam diretamente sobre os pilares. No caso das lajes, o valor foi nulo porque não foram obtidos valores de  $G_{de}$  iguais ou superiores a 15.

Na Tabela 6.3 são apresentados os resultados dos cálculos dos valores de *grau do dano* ( $D$ ) para o pilar P1 da OAE-01. Observa-se que foram detectados apenas dois danos, ambos com fator de ponderação ( $F_p$ ) igual a três, porém com fatores de intensidade ( $F_i$ ) diferentes.

Tabela 6.3 - Resultados dos cálculos dos valores de grau do dano ( $D$ ) para o pilar P1 da OAE-01

<b>Danos</b>	$F_p$	$F_i$	$D$
Falha de concretagem	3	1	2,40
Fissuras	3	3	24,00

A Figura 6.6 mostra a região do pilar P1 onde foram encontrados os dois danos relacionados na Tabela 6.3. A falha de concretagem encontrada é superficial e pouco

significativa em relação às dimensões da peça, portanto, de acordo com o *Roteiro de inspeção de pontes de concreto armado e protendido* (EUQUERES, 2011), foi atribuído a esse dano o valor de  $F_i$  igual a 1.

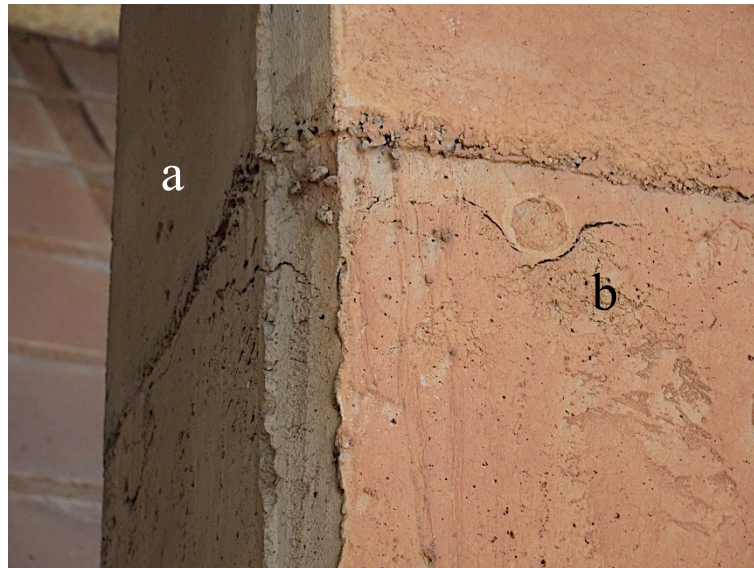


Figura 6.6 - Detalhe da região onde foram encontrados os danos no pilar P1. (a) Falha de concretagem (perda de nata de cimento) e (b) fissura de assentamento plástico.

O outro dano mostrado na Figura 6.6 é uma fissura originada com o concreto ainda no estado plástico. Nesse caso, a tipologia da fissura remete a um dano provocado por assentamento plástico do concreto, sendo-lhe atribuído o valor de  $F_p$  igual a 3 (três). Diferente das fissuras provocadas por cargas excessivas ou por deficiências dos materiais, as fissuras originadas quando o concreto ainda se encontra no estado plástico são estáveis. Mesmo com uma abertura exagerada, o fato de se tratar de uma fissura estabilizada levou, portanto, à atribuição do valor de  $F_i$  igual a 3.

A utilização da Equação 3.1 ou da Equação 3.2 depende do valor de  $F_i$  ser menor ou maior que 2,5 (Figura 3.5). Assim, para a falha de concretagem deve ser utilizada a primeira equação, ficando o cálculo da seguinte forma:

$$D_{falha\ de\ concretagem} = 0,8 \cdot F_i \cdot F_p = 0,8 \cdot 1 \cdot 3 = 2,40$$

Já para o cálculo do valor de  $D$  relativo às fissuras, deve ser utilizada a Equação 3.2, uma vez que o valor de  $F_i$  para este dano foi igual a 3 (três), conforme mostrado abaixo.

$$D_{fissuras} = (12 \cdot F_i - 28)F_p = (12 \cdot 3 - 28) \cdot 3 = 24,00$$

Após a avaliação de cada dano isoladamente, deve ser avaliado o elemento estrutural sob o efeito de todos os danos nele existentes, o que é feito por meio da Equação 3.3. A seguir são explicitados os cálculos que definem o valor do  $G_{de}$  para o pilar P1 da OAE-01.

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \left[ 1 + \frac{\left( \sum_{i=1}^n D_i \right) - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^n D_i} \right] = 24 \left[ 1 + \frac{(24 + 2,4) - 24}{(24 + 2,4)} \right] = 26,18$$

Os cálculos mostrados até aqui são repetidos para cada dano encontrado durante a inspeção (cálculo de  $D$ ) e em seguida para cada elemento da estrutura (cálculo de  $G_{de}$ ). De posse dos valores dos graus de deterioração de cada elemento, são feitas recomendações acerca de providências a serem tomadas para cada elemento isoladamente. Assim, de acordo com a Tabela 3.11, a intervenção no pilar P1 pode ser planejada para o longo prazo (máximo 2 anos).

Na estrutura em análise foram constatados danos em dois pilares (P1 e P3), que apresentaram os mesmos valores de  $G_{de}$ . O conjunto dos pilares da OAE-01 formam uma família de elementos estruturais, e o valor do grau de deterioração de cada família da estrutura ( $G_{df}$ ) deve ser feito de acordo com a Equação 3.4. Para a família dos pilares da OAE-01 os cálculos são os seguintes:

$$G_{df} = 26,18 \sqrt{1 + \frac{(26,18 + 26,18) - 26,18}{(26,18 + 26,18)}} = 32,07$$

A avaliação da estrutura como um todo é feita pelo *grau de deterioração da estrutura* ( $G_d$ ), que é calculado pela Equação 3.5. O calculo do valor de  $G_d$  depende diretamente dos valores de  $G_{df}$ , conforme mostrado a seguir.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k (F_{r,i} \cdot G_{df,i})}{\sum_{i=1}^k F_{r,i}} = \frac{32,07 \cdot 5 + 24,38 \cdot 5 + 25,5 \cdot 3 + 42,68 \cdot 3 + 44,3 \cdot 1}{5 + 5 + 3 + 3 + 1} = 31,24$$

O valor de  $G_d$  obtido pela OAE-01 corresponde ao nível de deterioração “médio”, para o qual se deve definir prazo para nova inspeção, ou até mesmo uma nova inspeção de outra

natureza, mais detalhada. Nesse caso a intervenção também pode ser planejada para o longo prazo (máximo 2 anos), conforme a Tabela 3.12.

Para se obter o valor de  $G_d^*$ , esse procedimento é aplicado da mesma forma, porém com a consideração de todos os valores de  $G_{de}$ , e não apenas os valores iguais ou maiores que 15.

## 6.2. RESULTADOS DAS DEMAIS OAEs

Neste item serão apresentadas as principais características das demais OAEs e os resultados obtidos pelas avaliações feitas pelas duas metodologias.

### 6.2.1. Resultados da OAE-02

A OAE-02 está localizada em um trecho em tangente da BR-450/DF e passou por alargamento da sua superestrutura para o lado direito, conforme Figura 6.7. Há duas vigas longitudinais na porção original da OAE e mais duas na porção alargada, sendo elas ligadas transversalmente pela laje e pelas transversinas. A superestrutura do lado esquerdo se apoia em travessas e a superestrutura do lado direito diretamente sobre os pilares de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas. Na Figura 6.8 (a) é mostrada a entrada da OAE no sentido crescente<sup>17</sup> da pista e na Figura 6.8 (b) uma vista lateral da OAE.

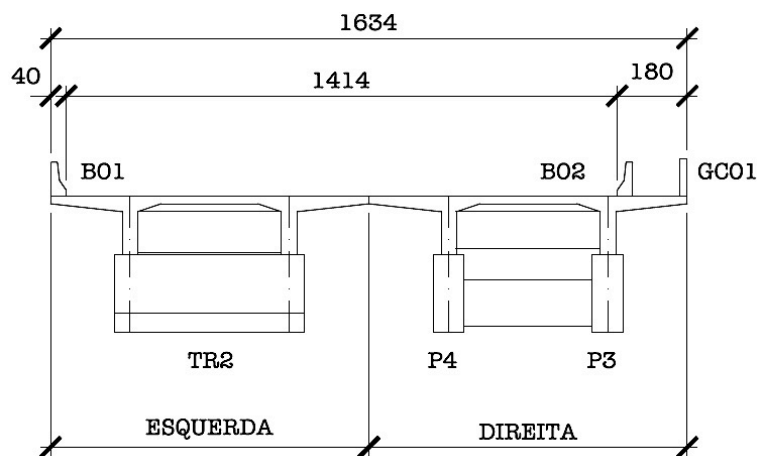


Figura 6.7 - Croqui com a seção transversal da OAE-02 após o alargamento (sem escala).

<sup>17</sup> As estradas são referenciadas por quilômetro crescente a partir de uma origem. No caso da Figura 6.8 (a), a OAE no primeiro plano da foto está na pista direita no sentido crescente da referência (km).



(a) (b)  
 Figura 6.8 - OAE-02 (a) vista da entrada da ponte e (b) vista lateral.

Os resultados para a OAE-02 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-02 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	4	5	56,74	67,46
Vigas	3	5	34,67	41,02
Travessas	-	5	3,20	0,00
Transversinas	-	3	4,80	0,00
Lajes	4	4	67,95	88,63
Cortinas e alas	-	3	4,80	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	3	1	74,55	91,30
Nota Técnica:	3		$G_d$ :	65,88

Como há danos em todas as famílias, a coluna relativa à metodologia do DNIT deveria ter valores de notas técnicas atribuídos para todas as famílias. Conforme detalhado no item 5.1.2, alguns danos não são avaliados pela metodologia do DNIT, como falhas de concretagem, manchas e danos em aparelhos de apoio inacessíveis. No caso da obra em tela, as travessas apresentaram falha de concretagem e as outras duas famílias (transversinas e cortinas e alas) apresentaram manchas, levando à não consideração desses danos na avaliação.



### 6.2.2. Resultados da OAE-03

A OAE-03 está localizada em um trecho em tangente da BR-450/DF e passou por alargamento da sua superestrutura para o lado esquerdo, conforme Figura 6.9. Há duas vigas longitudinais na porção original da OAE e mais quatro na porção alargada, sendo elas ligadas transversalmente pela laje e pelas transversinas. A superestrutura do lado esquerdo se apoia em travessas e a superestrutura do lado direito diretamente sobre os pilares isolados de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas.

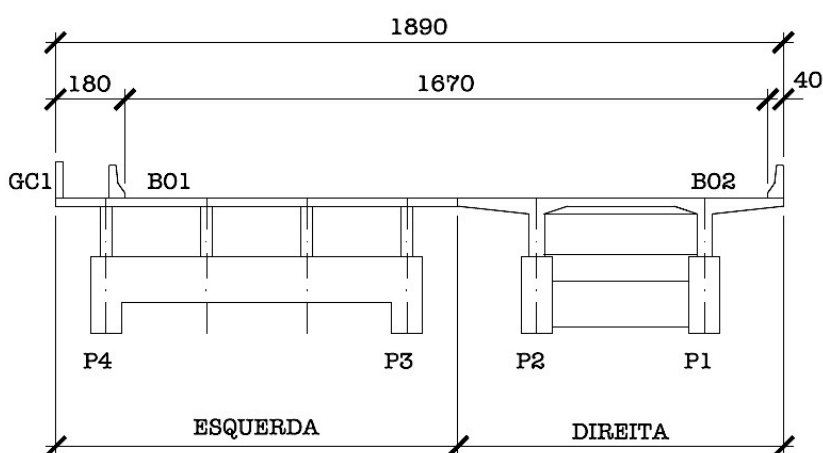


Figura 6.9 - Croqui com a seção transversal da OAE-03 após o alargamento (sem escala).

A Figura 6.10 mostra uma vista superior e uma vista inferior da OAE, permitindo identificar o trecho original (com duas vigas) e o trecho alargado (com quatro vigas)



(a)



(b)

Figura 6.10 - OAE-03 (a) vista da ponte, no sentido crescente da pista e contrário ao fluxo de veículos, e (b) vista inferior do encontro.

Os resultados para a OAE-03 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-03 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	F <sub>r</sub>	G <sub>de,máx</sub>	G <sub>df</sub>
Pilares	4	5	12,36	0,00
Vigas	3	5	41,14	51,62
Travessas	3	5	32,00	32,00
Transversinas	4	3	23,11	23,11
Lajes	4	4	60,39	77,97
Cortinas e alas	4	3	61,82	61,82
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	-	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	3		G <sub>d</sub> :	49,24

### 6.2.3. Resultados da OAE-04

A OAE-04 está localizada em um trecho em curva sobre a BR-450/DF e sua superestrutura é composta por lajes que se apoiam diretamente sobre três linhas de pilares isolados, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.11).



Figura 6.11 - Vista da OAE-04, viaduto em curva sobre a BR-450/DF.

Pela descrição da estrutura feita no parágrafo anteriormente e pelo aspecto da estrutura mostrado na Figura 6.11, se conclui que as famílias *vigas*, *transversinas* e *travessas* não fazem parte da estrutura da OAE-04, uma vez que a superestrutura é formada apenas pela laje. Dessa forma, essas famílias não obtiveram notas técnicas pela metodologia do DNIT e os valores de G<sub>df</sub> pela metodologia GDE/UnB foram nulos, conforme mostrado na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-04 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	F <sub>r</sub>	G <sub>de,máx</sub>	G <sub>df</sub>
Pilares	3	5	8,00	0,00
Vigas	-	5	0,00	0,00
Travessas	-	5	0,00	0,00
Transversinas	-	3	0,00	0,00
Lajes	4	4	7,20	0,00
Cortinas e alas	3	3	60,00	70,54
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	3	1	32,00	39,19
Nota Técnica:	3		G <sub>d</sub> :	62,70

#### 6.2.4. Resultados da OAE-05

A OAE-05 está localizada em um trecho em curva sobre a BR-450/DF e sua superestrutura é composta por uma laje que se apoia diretamente sobre três linhas de pilares isolados, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.12).

Assim como a estrutura da OAE-04, esta OAE não possui vigas, transversinas e travessas em sua superestrutura, explicando o motivo pelo qual não foram atribuídos valores de notas técnicas a essas famílias, conforme pode ser observado na Tabela 6.7.



Figura 6.12 - Vista da OAE-05, viaduto em curva sobre a BR-450/DF

Tabela 6.7 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-05 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	3	5	57,53	77,58
Vigas	-	5	0,00	0,00
Travessas	-	5	0,00	0,00
Transversinas	-	3	0,00	0,00
Lajes	4	4	7,80	0,00
Cortinas e alas	4	3	11,56	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	4	1	6,40	0,00
Nota Técnica:	3		$G_d$ :	77,58

### 6.2.5. Resultados da OAE-06

A OAE-06 está localizada em um trecho em tangente da BR-450/DF e passou por alargamento da sua superestrutura para o lado direito, conforme Figura 6.13 (a). Há duas vigas longitudinais na porção original da OAE e mais duas na porção alargada, sendo elas ligadas transversalmente pela laje e pelas transversinas. A superestrutura dos dois lados se apoiam diretamente sobre os pilares de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas.

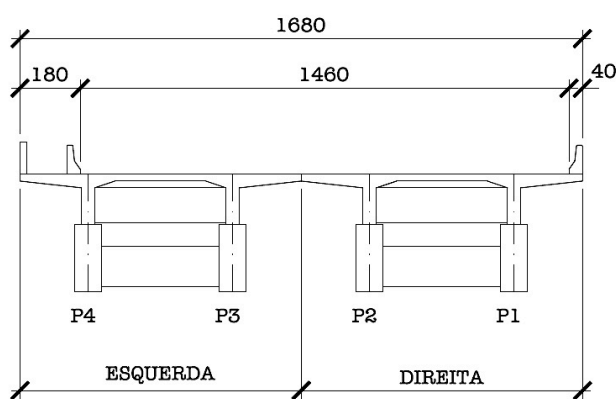


Figura 6.13 - OAE-06 (a) croqui com a seção transversal da OAE-06 após o alargamento (sem escala), e (b) vista da ponte, no sentido crescente da pista.

Os resultados para a OAE-06 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-06 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	F <sub>r</sub>	G <sub>de,máx</sub>	G <sub>df</sub>
Pilares	5	5	0,00	0,00
Vigas	3	5	84,53	84,53
Travessas	5	5	0,00	0,00
Transversinas	5	3	0,00	0,00
Lajes	4	4	3,20	0,00
Cortinas e alas	5	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	3		G <sub>d</sub> :	84,53

### 6.2.6. Resultados da OAE-07

A OAE-07 está localizada em um trecho em tangente da BR-450/DF e passou por alargamento da sua superestrutura para o lado direito, conforme Figura 6.14. Há duas vigas longitudinais na porção original da OAE e mais duas na porção alargada, ligadas transversalmente pela laje e pelas transversinas. A superestrutura dos dois lados se apoiam diretamente sobre os pilares de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas.

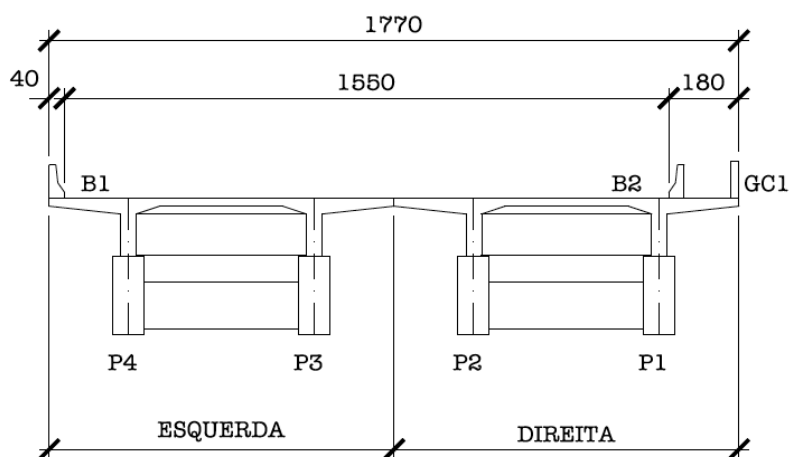


Figura 6.14 - Croqui com a seção transversal da OAE-07 após o alargamento (sem escala).

A Figura 6.15 mostra uma vista superior e uma vista lateral da estrutura.



Figura 6.15 - OAE-07 (a) vista superior no sentido decrescente da pista, e (b) vista da lateral esquerda da ponte.

Os resultados para a OAE-07 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-07 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	5	5	0,00	0,00
Vigas	3	5	48,39	56,14
Travessas	5	5	0,00	0,00
Transversinas	5	3	4,80	0,00
Lajes	4	4	44,29	44,29
Cortinas e alas	5	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	3		$G_d$ :	50,87

### 6.2.7. Resultados da OAE-08

A OAE-08 está localizada em um trecho em tangente do lado esquerdo BR-450/DF e passou por alargamento da sua superestrutura para o lado esquerdo (Figura 6.16). A seção transversal é formada por lajes que se apoiam diretamente sobre pilares parede de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas.



Figura 6.16 - Vista lateral da OAE-08, superestrutura em laje apoiada diretamente sobre pilares parede.

Os resultados para a OAE-08 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.10.

Tabela 6.10 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-08 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	4	5	11,79	0,00
Vigas	-	5	0,00	0,00
Travessas	-	5	0,00	0,00
Transversinas	-	3	0,00	0,00
Lajes	3	4	60,00	60,00
Cortinas e alas	5	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	3		$G_d$ :	60,00

### 6.2.8. Resultados da OAE-09

A OAE-09 está localizada em um trecho em tangente da BR-450/DF e passou por alargamento da sua superestrutura para o lado direito (Figura 6.17). A seção transversal é formada por lajes que se apoiam diretamente sobre pilares parede de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas.



Figura 6.17 - Vista lateral da OAE-09, superestrutura em laje apoiada diretamente sobre pilares parede.

Os resultados para a OAE-09 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.11.

Tabela 6.11 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-09 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	3	5	59,38	59,38
Vigas	-	5	0,00	0,00
Travessas	-	5	0,00	0,00
Transversinas	-	3	0,00	0,00
Lajes	3	4	12,92	0,00
Cortinas e alas	5	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	8,00	0,00
Nota Técnica:	3		$G_d$ :	59,38

### 6.2.9. Resultados da OAE-10

A OAE-10 está localizada em um trecho em tangente da Via L4 e sua seção transversal é formada por lajes que se apoiam diretamente sobre pilares parede de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.18).





Figura 6.18 - Vista lateral da OAE-10, superestrutura em laje apoiada diretamente sobre pilares parede.

Os resultados para a OAE-10 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.12.

Tabela 6.12 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-10 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	3	5	65,92	84,62
Vigas	-	5	0,00	0,00
Travessas	-	5	0,00	0,00
Transversinas	-	3	0,00	0,00
Lajes	4	4	48,75	48,75
Cortinas e alas	5	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	3		$G_d$ :	68,68

### 6.2.10. Resultados da OAE-11

A OAE-11 está localizada em um trecho em tangente da Via L4 e sua seção transversal é formada por lajes que se apoiam diretamente sobre pilares parede de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.19).



Figura 6.19 - Vista lateral da OAE-11, superestrutura em laje apoiada diretamente sobre pilares parede.

Os resultados para a OAE-11 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.13.

Tabela 6.13 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-11 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	2	5	134,55	172,85
Vigas	-	5	0,00	0,00
Travessas	-	5	0,00	0,00
Transversinas	-	3	0,00	0,00
Lajes	4	4	56,74	56,74
Cortinas e alas	5	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	2		$G_d$ :	121,25

### 6.2.11. Resultados da OAE-12

A OAE-12 está localizada em um trecho em tangente da Via L4 e sua seção transversal é formada por lajes que se apoiam diretamente sobre pilares parede de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.20).



Figura 6.20 - Vista lateral da OAE-12, superestrutura em laje apoiada diretamente sobre pilares parede.

Os resultados para a OAE-12 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.14.

Tabela 6.14 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-12 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	2	5	132,43	165,54
Vigas	-	5	0,00	0,00
Travessas	-	5	0,00	0,00
Transversinas	-	3	0,00	0,00
Lajes	3	4	85,65	85,65
Cortinas e alas	5	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	2		$G_d$ :	130,03

### 6.2.12. Resultados da OAE-13

A OAE-13 está localizada em um trecho em tangente da Via L4 e sua seção transversal é formada por lajes que se apoiam diretamente sobre pilares parede de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.21).



Figura 6.21 - Vista lateral da OAE-13, superestrutura em laje apoiada diretamente sobre pilares parede.

Os resultados para a OAE-13 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.15.

Tabela 6.15 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-13 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	2	5	122,36	134,55
Vigas	-	5	0,00	0,00
Travessas	-	5	0,00	0,00
Transversinas	-	3	0,00	0,00
Lajes	3	4	64,13	64,13
Cortinas e alas	5	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	2		$G_d$ :	103,25

### 6.2.13. Resultados da OAE-14

A OAE-14 está localizada em um trecho em tangente da Via L4 e sua seção transversal é formada por vigas pré-moldadas ligadas transversalmente pelas lajes e transversinas. A superestrutura se apoia em travessas que apoiam sobre pilares parede de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.22).



Figura 6.22 - Vista lateral da OAE-14, superestrutura em vigas pré-moldadas em travessas de concreto.

Os resultados para a OAE-14 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.16.

Tabela 6.16 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-14 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	4	5	12,36	0,00
Vigas	4	5	23,11	23,11
Travessas	4	5	6,98	0,00
Transversinas	4	3	4,27	0,00
Lajes	3	4	36,17	49,47
Cortinas e alas	4	3	23,11	23,11
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	4	1	6,40	0,00
Nota Técnica:	3		$G_d$ :	31,90

#### 6.2.14. Resultados da OAE-15

A OAE-15 está localizada em um trecho em tangente da Via L4 e sua seção transversal é formada por vigas pré-moldadas ligadas transversalmente pelas lajes e transversinas. A superestrutura se apoia em travessas que apoiam sobre pilares parede de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.23).



Figura 6.23 - Vista lateral da OAE-15, superestrutura em vigas pré-moldadas apoiadas em travessas de concreto.

Os resultados para a OAE-15 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.17.

Tabela 6.17 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-15 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	4	5	7,68	0,00
Vigas	4	5	33,00	43,65
Travessas	4	5	11,00	0,00
Transversinas	5	3	0,00	0,00
Lajes	3	4	38,40	51,78
Cortinas e alas	4	3	23,11	23,11
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	3		$G_d$ :	41,23

### 6.2.15. Resultados da OAE-16

A OAE-16 está localizada em um trecho em curva da Via L4 e sua seção transversal lajes que se apoiam diretamente sobre pilares parede de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.24).



Figura 6.24 - Vista lateral da OAE-16, superestrutura em laje de concreto apoiada diretamente em pilares parede.

Os resultados para a OAE-16 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.18.

Tabela 6.18 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-16 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	F <sub>r</sub>	G <sub>de,máx</sub>	G <sub>df</sub>
Pilares	2	5	108,76	143,61
Vigas	-	5	0,00	0,00
Travessas	-	5	0,00	0,00
Transversinas	-	3	0,00	0,00
Lajes	3	4	34,15	34,15
Cortinas e alas	4	3	4,80	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	4	1	4,80	0,00
Nota Técnica:	2		G <sub>d</sub> :	94,96

### 6.2.16. Resultados da OAE-17

A OAE-17 está localizada em um trecho em curva da Via L4 e sua seção transversal é formada por lajes que se apoiam diretamente sobre pilares parede de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.25).



Figura 6.25 - Vista lateral da OAE-17, superestrutura em laje de concreto apoiada diretamente em pilares parede.

Os resultados para a OAE-17 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.19.

Tabela 6.19 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-17 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	2	5	110,71	146,24
Vigas	-	5	0,00	0,00
Travessas	-	5	0,00	0,00
Transversinas	-	3	0,00	0,00
Lajes	3	4	44,29	56,81
Cortinas e alas	5	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	2		$G_d$ :	106,49

### 6.2.17. Resultados da OAE-18

A OAE-18 está localizada em um trecho em curva da Via L4 e é composta pela laje que descarrega diretamente nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.26).



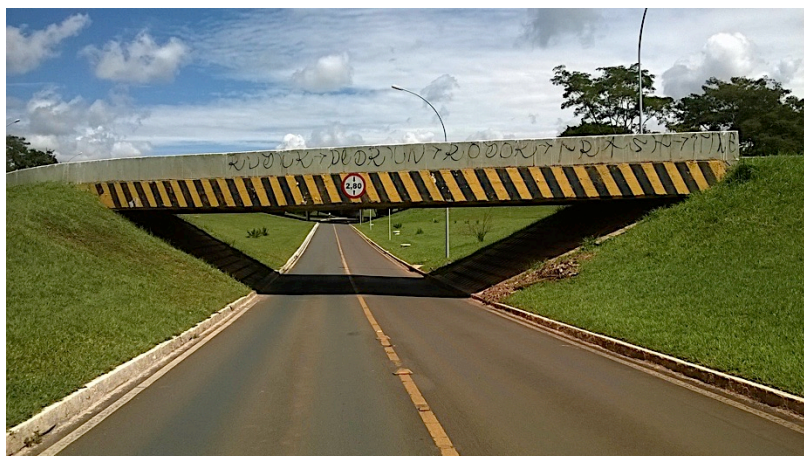


Figura 6.26 - Vista lateral da OAE-18, superestrutura em laje de concreto.

Os resultados para a OAE-18 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.20.

Tabela 6.20 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-18 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	-	5	0,00	0,00
Vigas	-	5	0,00	0,00
Travessas	-	5	0,00	0,00
Transversinas	-	3	0,00	0,00
Lajes	3	4	62,14	62,14
Cortinas e alas	5	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	4	1	8,53	0,00
Nota Técnica:	3		$G_d$ :	62,14

### 6.2.18. Resultados da OAE-19

A OAE-19 está localizada em um trecho em tangente da Via L4 e sua seção transversal é formada por vigas pré-moldadas ligadas transversalmente pelas lajes e transversinas. A superestrutura se apoia em travessas que apoiam sobre pilares de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.27).



Figura 6.27 - Vista lateral da OAE-19, superestrutura em vigas pré-moldadas.

Os resultados para a OAE-19 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.21.

Tabela 6.21 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-19 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	4	5	32,35	32,35
Vigas	3	5	36,00	45,88
Travessas	4	5	7,20	0,00
Transversinas	4	3	11,56	0,00
Lajes	4	4	34,15	42,20
Cortinas e alas	4	3	23,11	23,11
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	3		$G_d$ :	37,02

### 6.2.19. Resultados da OAE-20

A OAE-20 está localizada em um trecho em tangente da Via L4 e sua seção transversal é formada por vigas pré-moldadas ligadas transversalmente pelas lajes e transversinas. A superestrutura se apoia em travessas que apoiam sobre pilares de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.28).



Figura 6.28 - Vista lateral da OAE-20, superestrutura em vigas pré-moldadas.

Os resultados para a OAE-20 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.22.

Tabela 6.22 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-20 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	4	5	8,00	0,00
Vigas	4	5	36,17	46,31
Travessas	5	5	6,00	0,00
Transversinas	5	3	0,00	0,00
Lajes	3	4	48,75	67,78
Cortinas e alas	5	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	3		$G_d$ :	55,85

### 6.2.20. Resultados da OAE-21

A OAE-21 está localizada em um trecho em tangente da Via L4 e sua seção transversal é formada por vigas pré-moldadas ligadas transversalmente pelas lajes e transversinas. A superestrutura se apoia em travessas que apoiam sobre pilares de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.29).



Figura 6.29 - Vista lateral da OAE-21, superestrutura em vigas pré-moldadas.

Os resultados para a OAE-21 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.23.

Tabela 6.23 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-21 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	4	5	4,80	0,00
Vigas	4	5	38,40	46,68
Travessas	4	5	7,20	0,00
Transversinas	4	3	11,00	0,00
Lajes	4	4	38,40	50,63
Cortinas e alas	5	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	4		$G_d$ :	48,44

### 6.2.21. Resultados da OAE-22

A OAE-22 está localizada em um trecho em tangente da Via L4 e sua seção transversal é formada por vigas pré-moldadas ligadas transversalmente pelas lajes e transversinas. A superestrutura se apoia em travessas que apoiam sobre pilares de concreto armado, que por sua vez descarregam nas fundações de características desconhecidas (Figura 6.30).



Figura 6.30 - Vista lateral da OAE-22, superestrutura em vigas pré-moldadas.

Os resultados para a OAE-22 pelas duas metodologias são mostrados na Tabela 6.24.

Tabela 6.24 - Resumo dos resultados obtidos pela OAE-22 pelas metodologias do DNIT e GDE/UnB

Família	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$F_r$	$G_{de,máx}$	$G_{df}$
Pilares	4	5	12,36	0,00
Vigas	4	5	10,24	0,00
Travessas	5	5	0,00	0,00
Transversinas	4	3	11,56	0,00
Lajes	4	4	61,82	69,11
Cortinas e alas	4	3	23,11	23,11
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	5	1	0,00	0,00
Nota Técnica:	4		$G_d$ :	49,39

### 6.3. INCIDÊNCIA DOS DANOS NAS OAEs

Durante as inspeções das 22 OAEs foram detectados 957 danos divididos em dez tipos diferentes, conforme mostrado na Tabela 6.25. Conforme definido em 5.1, os danos foram identificados e coletados com base em verificação visual, e se encontram relacionados no APÊNDICE A, acompanhados das demais informações para sua completa identificação, tais como: OAE, família, elemento, valor de  $F_i$  e valor de  $F_r$ .

Tabela 6.25 - Contagem dos danos encontrados nas 22 OAEs inspecionadas divididos por via.

Danos	Via	
	BR-450/DF	Via L4
Cobrimento deficiente	44	62
Corrosão de armaduras	45	68
Danos por impacto	2	-
Desagregação	1	7
Desplacamento	20	56
Eflorescência	23	100
Falha de concretagem	37	94
Fissuras	62	204
Manchas	31	100
Sinais de esmagamento	1	-
<b>Total:</b>	<b>266</b>	<b>691</b>

## 7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 7.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este capítulo se destina à exposição da análise dos resultados apresentados no capítulo anterior, tendo como foco os aspectos que possam estabelecer a metodologia mais adequada à avaliação de OAEs dentro de um sistema de gestão.

### 7.2. AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UnB PARA A CLASSIFICAÇÃO DE OAEs

Castro (1994), Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007) aplicaram a metodologia GDE/UnB em estruturas de edificações considerando apenas valores de  $G_{de}$  iguais ou superiores a 15. Euqueres (2011) aplicou a metodologia a OAEs considerando todos os valores de  $G_{de}$  diferentes de zero. A Figura 7.1 apresenta o gráfico com a superposição dos valores dos graus de deterioração obtidos para as 22 estruturas inspecionadas. Observa-se que o grau de deterioração da estrutura foi calculado de duas formas distintas: a primeira ( $G_d^*$ ) considerando todos os valores de  $G_{de}$  diferentes de zero, e a segunda ( $G_d$ ) considerando apenas valores de  $G_{de}$  iguais ou superiores a 15.

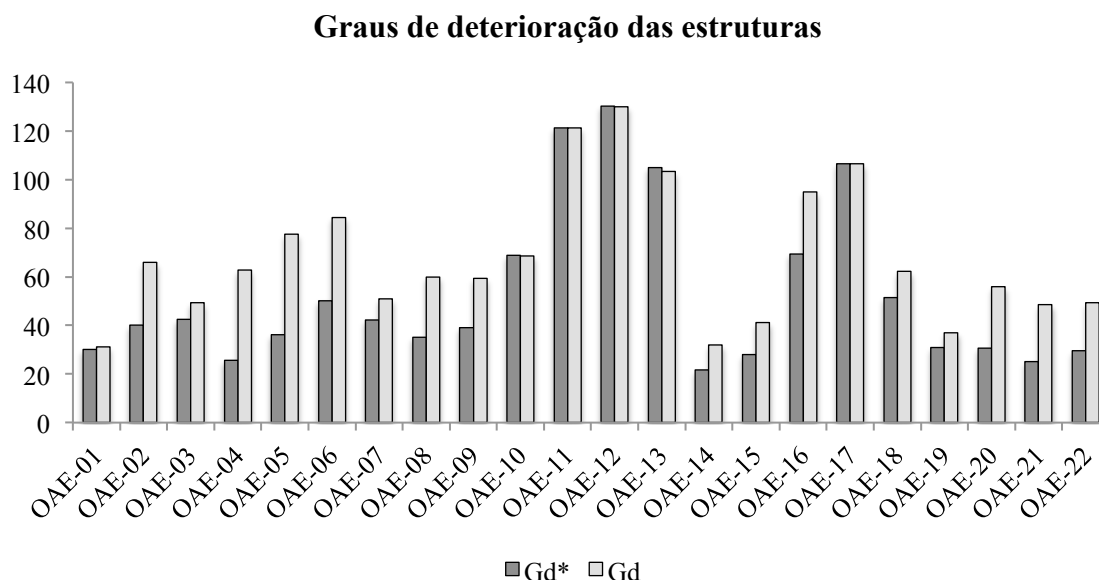


Figura 7.1 - Superposição dos valores obtidos para os graus de deterioração da estrutura calculados considerando todos os valores de  $G_{de}$  diferentes de zero ( $G_d^*$ ) e considerando apenas valores de  $G_{de}$  maiores que 15 ( $G_d$ ).

A comparação entre as séries  $G_d^*$  e  $G_d$  permite concluir que seguem tendências semelhantes, no entanto, os valores da primeira, à exceção das OAEs 10, 12 e 13, são sempre iguais ou inferiores aos da segunda. Tal constatação pode parecer contraditória em uma análise preliminar, uma vez que a consideração de todos os elementos com danos (valores de  $G_{de}$ ) deveria colocar a estrutura em um nível de deterioração mais elevado (Tabela 3.12).

Na Figura 7.2 são mostrados dois deslocamentos encontrados em pilares distintos da OAE-05. O valor do  $G_{de}$  obtido para o pilar P8 foi 8,0 (Figura 7.2 (a)), enquanto que para o pilar P10 o valor de  $G_{de}$  foi 57,53 (Figura 7.2 (b)).



Figura 7.2 - Danos encontrados nos pilares da OAE-05: (a) deslocamento no pilar P8 sem a exposição da armadura, e (b) corrosão de barra longitudinal do pilar e deslocamento do concreto do pilar P10.

A observação dos dois elementos da OAE-05 mostra que danos de mesma denominação podem ter implicações muito diferentes na durabilidade da estrutura, e essas implicações são refletidas pelo valor do  $G_{de}$ . O deslocamento detectado no pilar P8 (Figura 7.2 (a)), embora provoque uma redução do cobrimento das armaduras, não as expõe diretamente à ação do ambiente. Já a Figura 7.2 (b) mostra o deslocamento com exposição de parte da armadura longitudinal do pilar P10, que se mostra cercada por produtos de corrosão. Dessa forma, os valores de  $G_{de}$  calculados se mostram coerentes quanto à expressividade dos danos no que se refere à deterioração da estrutura.

A consideração de valores baixos de  $G_{de}$  não tem uma implicação direta nas suas respectivas famílias, uma vez que a Equação 3.4 multiplica o maior valor de  $G_{de}$  pelo valor da raiz quadrada, que na presente metodologia é sempre maior que a unidade. Dito de outra



forma, a consideração de qualquer elemento, mesmo com valores baixos de  $G_{de}$ , fará com que o valor do  $G_{df}$  aumente, mostrando que o elemento danificado contribui para agravar o nível de deterioração da sua família. Por outro lado, a fórmula do  $G_d$  pode explicar a redução do *grau de deterioração da estrutura* ao se considerar também os elementos com  $G_{de}$  menores que 15.

A Equação 3.5, utilizada para o cálculo do grau de deterioração da estrutura, pondera os valores de  $G_{df}$  em função dos respectivos fatores de relevância estrutural. A aplicação dessa equação no cálculo de  $G_d^*$ , levando em consideração também as famílias que possuem elementos com valores de  $G_{de}$  menores que 15 e que seriam desprezadas no cálculo de  $G_d$ , faz com que a média (*grau de deterioração da estrutura*) seja deslocada para baixo. Como consequência, as ações recomendadas (Tabela 3.12) aos gestores serão abrandadas, o que leva a considerar a manutenção da recomendação feita por Castro (1994) quanto ao valor mínimo de  $G_{de}$ .

### **7.3. PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DA FORMULAÇÃO DO $G_d$**

É natural imaginar que, à medida que o número de danos aumente ao longo do tempo em uma determinada estrutura, o seu nível de deterioração também se eleve. Por outro lado, se espera que, à medida que ocorrem as intervenções de manutenção e os danos vão sendo eliminados, o nível de deterioração se reduza. No entanto não é o que ocorre com a aplicação da Equação 3.5, conforme será mostrado a seguir.

A OAE-15 tem seu  $G_d$  calculado com base nos graus de deterioração das famílias vigas ( $G_{df} = 43,65$ ), lajes ( $G_{df} = 51,78$ ) e cortinas e alas ( $G_{df} = 23,11$ ), obtendo-se o valor 41,23 para o *grau de deterioração da estrutura* (Tabela 6.17). Caso ocorra uma situação de limitação de recursos, em que se opte por realizar intervenções apenas nas cortinas e nas alas, sem dúvidas ocorreria uma redução no nível de deterioração da estrutura. O novo valor de  $G_d$  seria obtido como mostrado a seguir.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k (F_{r,i} \cdot G_{df,i})}{\sum_{i=1}^k F_{r,i}} = \frac{43,65 \cdot 5 + 51,78 \cdot 4}{5 + 4} = 47,26$$

Em vez de ser observada uma redução no valor do *grau de deterioração*, o que se observa é o aumento de 41,23 para 47,26.

O aumento no nível de deterioração da estrutura após a aplicação de recursos seria uma informação sem sentido para o gestor do estoque de estruturas. Como se trata de uma média ponderada, os valores do  $G_{df}$  e do fator de relevância da estrutura ( $F_r$ ) têm importância relativa no cálculo de  $G_d$ , sendo o resultado regido pelo produto dos dois. Por isso, para se conseguir a redução do valor de  $G_d$ , seria necessário que a intervenção se realizasse na família de maior produto  $G_d \times F_r$ , que no caso da OAE-15 é a família das vigas, onde o valor do referido produto é 218,27. Dessa forma, o valor de  $G_d$  seria reduzido para 39,49, conforme mostrado abaixo.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k (F_{r,i} \cdot G_{df,i})}{\sum_{i=1}^k F_{r,i}} = \frac{51,78 \cdot 4 + 23,11 \cdot 3}{4 + 3} = 39,49$$

O raciocínio inverso também poderia ser feito, em que o surgimento de danos de baixa intensidade e em elementos com baixos valores de  $F_r$  fariam com que o valor de  $G_d$  reduzisse, dando ao gestor a falsa impressão de que o nível de deterioração da obra baixou, mesmo sem a aplicação de recursos na OAE. Diante disso, mais adequado seria uma equação em que a inclusão de novos danos sempre aumentasse o nível de deterioração da estrutura, e a eliminação de danos apresentasse o comportamento inverso.

Como ponto de partida foi usada a Equação 3.4, utilizada para o cálculo do  $G_{df}$ , em que os termos referentes aos elementos ( $G_{de}$ ) foram substituídos pelos valores de  $G_{df}$ , resolvendo a questão levantada no parágrafo anterior (Equação 7.1).

$$G_d = G_{df,m\acute{a}x} \sqrt{1 + \frac{\left( \sum_{i=1}^k G_{df,i} \right) - G_{df,m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^k G_{df,i}}} \quad \text{Equa\c{c}\~{a}o 7.1}$$

Onde:

k: Número de famílias da estrutura;

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

$G_{df,m\acute{a}x}$ : Maior grau de deterioração de família encontrado na estrutura.

A formulação da metodologia GDE/UnB, em termos de concepção, se mostra vantajosa em relação à metodologia do DNIT em dois momentos cruciais: no primeiro, ao se ponderar os danos em função do elemento onde eles se encontram ( $F_p$ ); e no segundo, ponderando a importância relativa da família de elementos por meio do fator de relevância estrutural ( $F_r$ ). Diante disso, a Equação 7.1 se beneficia da primeira, uma vez que o cálculo do  $G_{df}$  passa obrigatoriamente pela consideração do  $F_p$ , mas não da segunda, pois a equação proposta não faz distinção entre as famílias, ou seja, não considera a relevância estrutural da família.

De fato, o produto do  $G_{df}$  pelo seu respectivo  $F_r$  destaca a importância da família na deterioração da estrutura como um todo. Diante disso, a estrutura da Equação 7.1 pode ser mantida, cabendo apenas a adequação dos seus termos. Assim, em vez considerar o  $G_{df,m\acute{a}x}$  como o termo a ser agravado pela raiz quadrada, será considerado o maior produto  $G_{df} \times F_r$ , que será definido como o *grau de deterioração da família majorado* -  $K$ , ficando a equação para cálculo do *grau de deterioração da estrutura* conforme a Equação 7.2. Nesse caso, o *grau de deterioração da estrutura* passa a ser identificado por  $G_{d,mod}$ .

$$G_{d,mod} = \frac{K_{m\acute{a}x}}{7,07} \sqrt{1 + \frac{\left( \sum_{i=1}^k K_i \right) - K_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^k K_i}} \quad \text{Equa\c{c}\~{a}o 7.2}$$

Onde:

k: Número de famílias da estrutura;

K: Produto do  $G_{df,i}$  pelo respectivo  $F_r$ ;

$K_{m\acute{a}x}$ : Maior valor do produto do  $G_{df,i}$  pelo respectivo  $F_r$ ;

O valor mostrado no denominador da equação proposta (7,07) é uma constante para o ajuste da escala, de forma que a faixa de valores possíveis seja a mesma da formulação apresentada no item 3.3.2, ou seja, de zero a 282,8.

Após a aplicação da formulação proposta às 22 OAEs inspecionadas, os resultados são novamente apresentados na Tabela 7.1. Para facilitar a comparação, foram repetidos os valores da nota técnica e do  $G_d$ , já apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 7.1 - Resultados da avaliação pela metodologia do DNIT e pela metodologia GDE/UnB - considerando a formulação modificada do grau de deterioração da estrutura ( $G_{d,mod}$  e  $G_{d,mod}^*$ ) e a equação proposta por Castro (1994) para o cálculo de  $G_d$ .

Obra	DNIT	GDE/UnB		
	Nota Técnica	$G_{d,mod}$	$G_{d,mod}^*$	$G_d$
OAE-01	3	29,54	29,96	31,24
OAE-02	3	64,22	64,58	65,88
OAE-03	3	57,22	58,44	49,24
OAE-04	3	32,17	34,96	62,70
OAE-05	3	54,85	59,56	77,58
OAE-06	3	59,76	62,83	84,53
OAE-07	3	46,74	47,75	50,87
OAE-08	3	33,94	37,82	60,00
OAE-09	3	41,98	49,29	59,38
OAE-10	3	68,62	68,70	68,68
OAE-11	2	134,32	134,32	121,25
OAE-12	2	133,07	133,34	130,03
OAE-13	2	107,45	109,76	103,25
OAE-14	3	34,08	36,29	31,90
OAE-15	3	38,53	39,88	41,23
OAE-16	2	109,35	111,44	94,96
OAE-17	2	114,99	115,03	106,49
OAE-18	3	35,15	35,73	62,14
OAE-19	3	41,49	43,97	37,02
OAE-20	3	46,33	47,63	55,85
OAE-21	4	39,94	43,45	48,44
OAE-22	4	42,83	55,74	49,39

$G_{d,mod}$ : Grau de deterioração da estrutura modificado considerando apenas valores de  $G_{de} \geq 15$ .

$G_{d,mod}^*$ : Grau de deterioração da estrutura modificado considerando todos os valores de  $G_{de}$ .

$G_d$ : Grau de deterioração da estrutura considerando apenas valores de  $G_{de} \geq 15$ .

A Equação 7.2 foi aplicada sem e com a consideração de valores de  $G_{de}$  abaixo de 15, obtendo-se  $G_{d,mod}$  e  $G_{d,mod}^*$ , respectivamente. A diferença média entre eles foi de 2,45 e máxima de 12,91, constatada na OAE-22. Nessa estrutura, três famílias não apresentaram valores de  $G_{de}$  iguais ou maiores que 15, sendo que duas delas (pilares e vigas) possuem elevada relevância, refletida pelos valores de  $F_r$  iguais a 5 (Tabela 6.24). A desconsideração dessas três famílias no cálculo de  $G_{d,mod}$  motivou a redução de 55,74 para 42,83.

Apesar das diferenças entre os valores obtidos para  $G_{d,mod}^*$  e  $G_{d,mod}$ , os primeiros sempre foram superiores aos últimos, mostrando que a consideração de todos os danos existentes na OAE não reduzem o valor do seu grau de deterioração. De acordo com a metodologia GDE/UnB, o que define se uma estrutura está mais deteriorada que outra é a quantidade e a intensidade dos seus danos, que serão agravados pelas relevâncias das respectivas famílias de elementos. Dito isso, a Equação 7.2 se mostra mais coerente quando se utilizam todos os valores de  $G_{de}$  ( $G_{d,mod}^*$ ).

Os resultados obtidos pela formulação proposta e pela Equação 3.5 são mostrados na Figura 7.3.

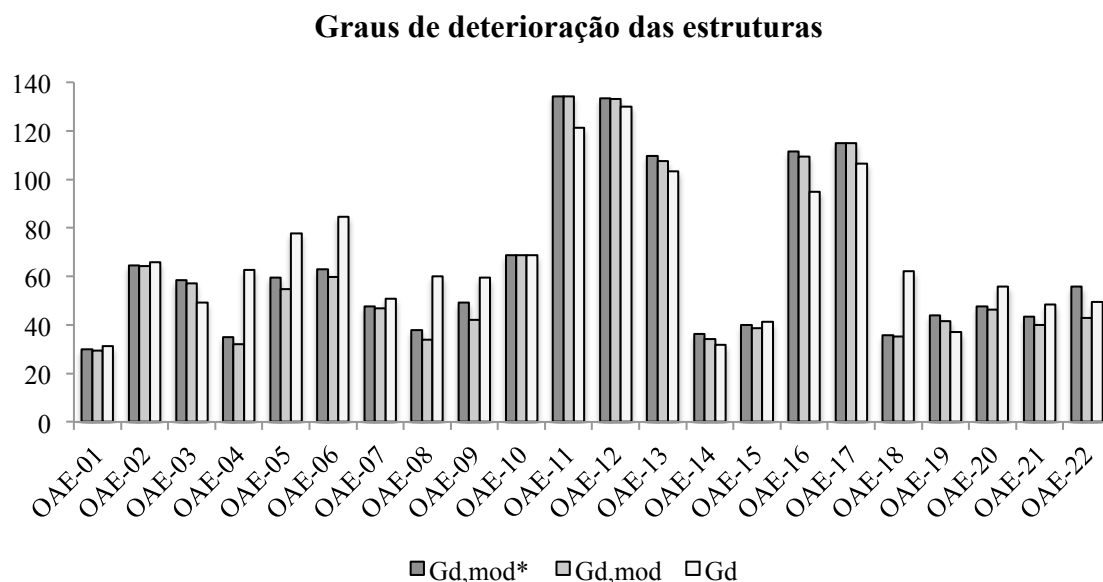


Figura 7.3 - Superposição dos valores obtidos para os graus de deterioração da estrutura calculados: com a formulação proposta considerando todos os valores de  $G_{de}$  diferentes de zero ( $G_{d,mod}^*$ ); com a formulação proposta apenas valores de  $G_{de} \geq 15$  ( $G_{d,mod}$ ); e com a equação de Castro (1994) ( $G_d$ ).

A comparação dos valores calculados de  $G_d$  e  $G_{d,mod}^*$ , mostra que há casos em que os primeiros foram superiores (12 casos) e também que foram inferiores (10 casos) a  $G_{d,mod}^*$ . Nos 12 casos em que os valores de  $G_d$  foram superiores, a diferença percentual foi mais elevada. No caso da OAE-04, o valor de  $G_d$  foi 79,34% maior que o valor de  $G_{d,mod}^*$ . Já nos 10 casos em que  $G_d$  foi inferior, a redução foi mais modesta, não sendo superior a 15,81% (OAE-19). Essas diferenças não seguem uma tendência, uma regra geral que explique os motivos dos valores de  $G_d$  serem maiores que os valores de  $G_{d,mod}^*$  em uns casos e menores em outros.

Uma análise do fluxo de cálculo do *grau de deterioração da estrutura* (Figura 7.4) auxilia no entendimento dos fatores que mais influem no resultado final.

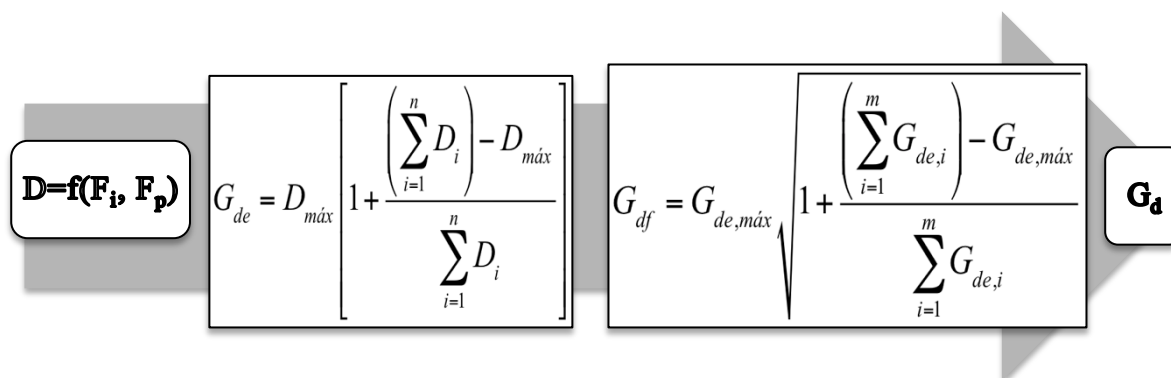


Figura 7.4 - Fluxo de cálculo do grau de deterioração da estrutura.

O *grau do dano* ( $D$ ) é uma função da sua intensidade e do elemento onde está localizado. Na sequência, o maior valor de  $D$  é agravado pelo valor entre colchetes, obtendo-se o *grau de deterioração do elemento* ( $G_{de}$ ). O próximo passo ( $G_{df}$ ) segue a mesma lógica com o agravamento do elemento mais deteriorado. Até esse ponto pode-se dizer que o elemento mais deteriorado se mostra relevante na avaliação da estrutura como um todo.

A diferença se faz apenas no cálculo do *grau de deterioração da estrutura*, em que o cálculo de  $G_d$ , conforme proposto por Castro (1994), é uma média ponderada, influenciada pela relevância das famílias (Equação 3.5), e o cálculo de  $G_{d,mod}^*$  (Equação 7.2) é feito por uma equação em que o maior valor do produto  $G_{df} \times F_r$  é agravado pelo valor da raiz quadrada, que na metodologia GDE/UnB é sempre maior que a unidade. No segundo caso, a relevância também é importante, mas o valor a ser majorado ( $K$ ) depende também do *grau de deterioração da família*, que por sua vez, majora o elemento mais deteriorado.

Assim, a Equação 3.5 tende a amenizar o *grau de deterioração da estrutura* com a inclusão de danos de baixa intensidade, minimizando a influência do elemento mais deteriorado. Por outro lado, a Equação 7.2 se mostra mais adequada à aplicação em um sistema de gestão, uma vez que a inclusão de novos danos sempre fará com que o nível de deterioração aumente, e a eliminação de danos sempre refletirá em uma melhora na condição da estrutura.

A possibilidade de consideração de todos os danos, sem a imposição de um valor mínimo de  $G_{de}$ , evita que uma OAE que apresente apenas danos de baixa intensidade receba um grau de deterioração igual a zero. A utilização da Equação 7.2 com todos os valores de  $G_{de}$ , possibilita que, mesmo entre estruturas com baixos níveis de deterioração, a metodologia GDE/UnB seja utilizada como auxílio na priorização em um sistema de gestão de OAEs.

#### 7.4. RELAÇÃO ENTRE A NOTA TÉCNICA E O GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA

Após a definição pela melhor adequação da Equação 7.2, considerando todos os valores de  $G_{de}$  ( $G_{d,mod}^*$ ), em relação à Equação 3.5, este item tem como fim analisar como se relacionam os resultados obtidos pelas duas metodologias estudadas (Figura 7.5).

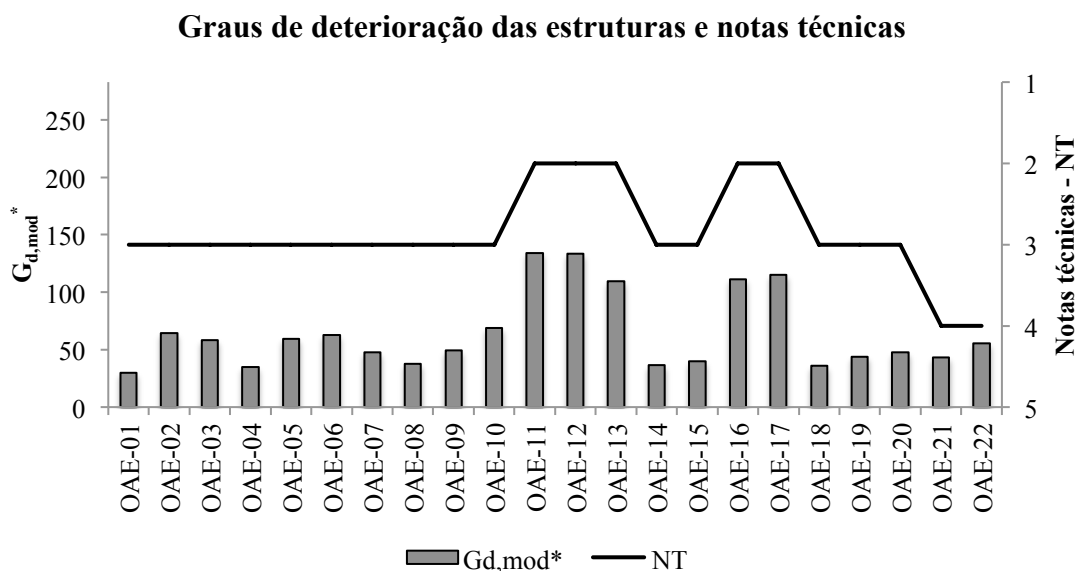


Figura 7.5 - Superposição dos valores obtidos para os graus de deterioração da estrutura calculados, com a formulação proposta, com os valores das notas técnicas obtidos pela metodologia do DNIT

A avaliação feita pela metodologia do DNIT teve seus resultados restritos a três valores dos cinco possíveis, e mesmo em um universo pequeno de estruturas, a priorização para a aplicação dos recursos disponíveis se torna difícil. Fica claro que as OAEs 11, 12, 13, 16 e 17 teriam prioridade e que as OAEs 21 e 22 seriam as últimas na escala de prioridade. Essa análise preliminar reduz de 22 para 5 o universo de opções para receberem os recursos disponíveis prioritariamente.

De acordo com DNIT (2004a), o único critério que o SGO utiliza para priorizar entre duas estruturas com mesma nota técnica é o Volume Médio Diário de Tráfego - VMD. Entretanto, todas as cinco OAEs com nota 2 estão inseridas no mesmo trecho da via L4, apresentando assim o mesmo VMD. Dessa forma, o único critério de priorização utilizado pelo sistema foi superado no caso em estudo, deixando a decisão unicamente nas mãos do gestor, que deverá decidir com base em critérios subjetivos.

Retomando o que foi apresentado no item 2.3 , as informações constantes no banco de dados - inclusive as referentes ao inventário, condições e classificação das OAEs - devem passar pela análise dos dados. Nessa fase, são utilizados modelos de previsão de deterioração e modelos econômicos. Os primeiros são usados para avaliar como os danos evoluirão com o tempo, e as implicações dessa evolução no nível de serviço da estrutura. Os modelos econômicos são usados para a análise dos custos das diferentes alternativas possíveis, inclusive da interdição ou limitação de carga da OAE. Em DNIT (2004a) não são apresentadas as razões da utilização do VMD como critério de priorização.

Em todo caso, seria mais adequado que essa análise não fosse feita na classificação do banco de dados, e sim na análise dos dados, em que esses serão transformados em informações que servirão como suporte à decisão, provendo o gestor dos meios necessários para deliberar sobre a conveniência e a oportunidade para a aplicação dos recursos disponíveis em uma determinada OAE. A mesma análise feita para as OAEs com nota técnica igual a 2 se aplica às 15 estruturas com nota técnica igual a 3.

No item 3.1 deste trabalho foram feitas considerações acerca das inspeções visuais, algumas referentes à subjetividade inerente aos resultados das inspeções, que são relacionadas ao tipo da inspeção, à metodologia de classificação e ao próprio inspetor. No que se refere especificamente ao inspetor, a Figura 3.2 apresenta a dispersão dos resultados obtidos por 49 inspetores diferentes para a mesma estrutura. Todas as 22 OAEs, objeto de



estudo desta pesquisa, foram inspecionadas pelo mesmo inspetor e apenas uma vez cada, de forma que não há como avaliar se essa dispersão se repetiria nessas 22 estruturas.

No entanto, há outra conclusão apontada por Varela (2007 apud ALMEIDA, 2013), que se refere à atribuição da maioria das notas na zona média da escala de classificação. A Figura 7.6 mostra a incidência dos valores notas técnicas obtidos na avaliação das 22 OAEs pela metodologia do DNIT.

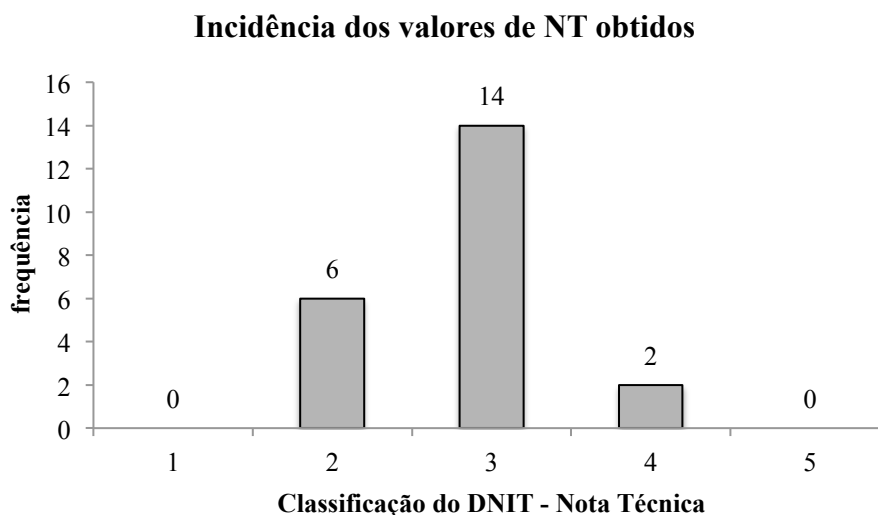


Figura 7.6 - Incidência dos valores de NT obtidos na avaliação das 22 OAEs pelo mesmo inspetor

Conforme apresentado no item 3.2.3, as estruturas são avaliadas pela metodologia do DNIT em uma escala de cinco valores, variando de 1 a 5. A maior incidência de notas técnicas ficou exatamente no valor intermediário da escala, ou seja, 14 das 22 OAEs obtiveram NT igual a 3 (Figura 7.6). Nenhuma OAE foi classificada nos extremos da escala, ou seja, notas 1 ou 5. A avaliação de um maior número de estruturas, por diferentes inspetores, seria necessária para se confirmar essa tendência, no entanto os valores apresentados na Figura 7.6 corroboram com as conclusões descritas por Varela (2007 apud ALMEIDA, 2013). Isso faz com que uma escala de cinco valores, como a utilizada pelo DNIT, seja forçada para uma escala de apenas três valores, como ocorreu nesta pesquisa.

Nesse contexto, a metodologia GDE/UnB surge como uma alternativa de avaliação das condições e de classificação das OAEs, uma vez que a avaliação por esta metodologia resulta em um valor numérico que varia de 0 a 282,8, tornando a tarefa de priorização

simples. Isso não elimina a questão da tendência para os valores intermediários da escala, mas minimiza as suas consequências.

Observando as 15 OAEs que receberam nota técnica igual a 3 (Figura 7.5), e comparando com os resultados obtidos pela formulação da metodologia GDE/UnB, se constata nesta um melhor escalonamento dos valores, o que não deixa dúvidas quanto à classificação das estruturas. Essa classificação é obtida apenas com dados coletados durante a inspeção, ficando informações como o VMD, características dos veículos que trafegam na via ou mesmo características das regiões ligadas pela via, reservadas para a fase de análise dos dados.

### 7.5. ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DOS DANOS NAS OAEs

Conforme definido em 4.1, o diagnóstico completo de um dano deve contemplar a identificação do sintoma, do mecanismo, da origem e da causa. Embora seja complexo o diagnóstico completo de cada um dos danos detectados durante a realização desta pesquisa, serão apresentadas neste item algumas considerações, buscando relacionar os itens de maior incidência com os elementos onde ocorreram. A Figura 7.7 mostra a incidência dos danos em valores percentuais divididos por tipo.

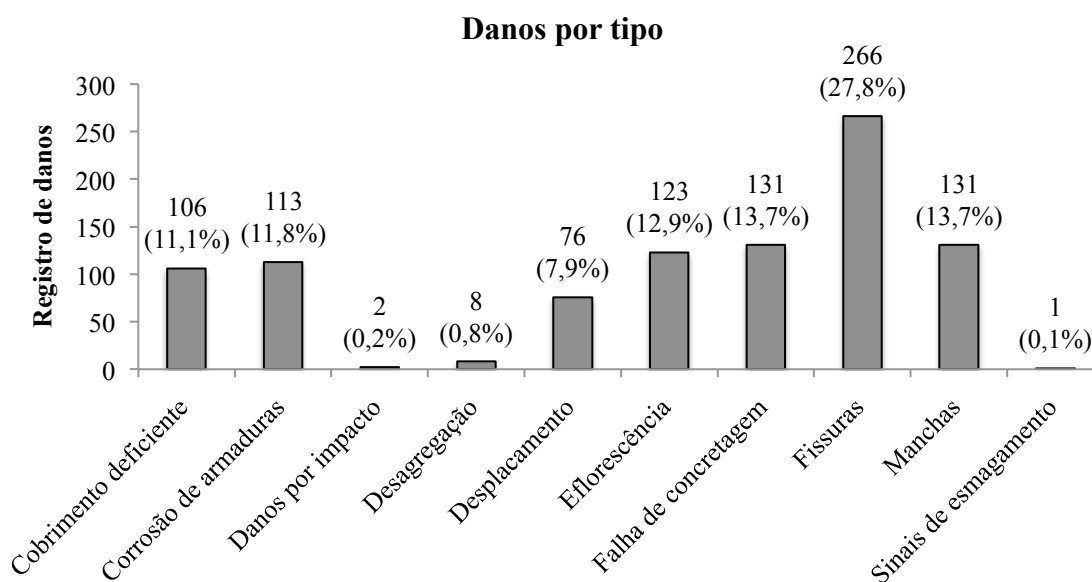


Figura 7.7 - Registros de incidência de danos nas 22 OAEs, e os respectivos percentuais entre parênteses, divididos por tipo.

Conforme observado na Figura 7.7, as fissuras foram o dano de maior incidência nas 22 OAEs, e podem ter diversas causas e origens. Esse é o único dano em que o valor de  $F_p$  não é previamente definido, devendo ser levado em consideração a peça onde se encontra a fissura e se a mesma é de retração plástica ou assentamento plástico, de retração do concreto por secagem, de flexão, etc.

A Tabela 7.2 mostra a incidência das fissuras nas diferentes famílias, separadas pelo respectivo valor de  $F_p$ . Das 266 fissuras encontradas, apenas 29 (10,9%) tiveram o fator de ponderação do dano igual a 5, valor reservado para fissuras de compressão ou flexo-compressão em pilares. O maior número de fissuras foi encontrado nas lajes, e dentre essas fissuras, 169 (63,53%) tiveram o valor de  $F_p$  igual 4, valor reservado para as fissuras de flexão. Na Via L4 foram encontradas 204 (76,7%) fissuras e na BR-450/DF, apenas 62 (23,3%).

Tabela 7.2 - Incidência das fissuras nas diferentes famílias de elementos estruturais por fator de ponderação.

Famílias	Fatores de ponderação - $F_p$			Total
	$F_p = 3$	$F_p = 4$	$F_p = 5$	
Barr, GR e GC	2	10	0	12
Cortinas e alas	1	0	0	1
Lajes	6	169	0	175
Pilares	11	0	29	40
Transversinas	3	0	0	3
Travessas	6	2	0	8
Vigas	0	27	0	27
<b>Total:</b>	<b>29</b>	<b>208</b>	<b>29</b>	<b>266</b>

Fissuras acima dos limites previstos por norma podem ser associados a deficiências do elemento estrutural ou a cargas excessivas. A Via L4 é destinada ao tráfego local, composto em sua maioria por veículos de passeio, e o grande número de fissuras observado nas OAEs dessa pista leva a crer na possibilidade de insuficiência dos elementos fissurados. Diante dessa observação, é recomendável a realização de inspeções especiais nas 13 estruturas da referida via que foram inspecionadas na presente pesquisa.

Outro dano de elevada incidência foram as falhas de concretagem, com 131 ocorrências distribuídas nas famílias de elementos conforme mostrado na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 - Incidência das falhas de concretagem nas diferentes famílias de elementos estruturais por fator de intensidade.

Famílias	Fatores de intensidade - $F_i$			Total
	$F_i = 1$	$F_i = 2$	$F_i = 3$	
Barr, GR e GC	0	1	0	1
Cortinas e alas	3	3	6	12
Lajes	4	2	5	11
Pilares	37	7	8	52
Transversinas	11	1	2	14
Travessas	7	1	0	8
Vigas	25	1	7	33
Total:	87	16	28	131

Percebe-se que as maiores incidências de falhas de concretagem ficaram nos elementos de pouca espessura (vigas e transversinas) ou que necessitam de maiores alturas de lançamento do concreto (pilares).

O caso mais numeroso, com 87 ocorrências (66,4%), foi avaliado com o *fator de intensidade* igual a 1, que é destinado a perdas de nata superficiais, motivadas por deficiências localizadas nas fôrmas, por características inadequadas do concreto ou pelos dois.

Os casos com ampla exposição da armadura, como o da viga V2 da OAE-07 (Figura 4.10 (b)), receberam  $F_i$  igual a 2. Em casos como esse, foi facilmente constatado que o pouco espaçamento entre as armaduras não permitiu a passagem dos agregados graúdos, formando uma barreira à passagem da argamassa do concreto. Os espaçamentos mínimos livres entre as barras, definidos na NBR 6118:2014 e nas suas versões anteriores, consideram o diâmetro máximo do agregado e o diâmetro da barra, do feixe ou da luva.

No exemplo da viga V2 citado no parágrafo anterior, a luva não obedeceu às prescrições normativas. No entanto, essa é uma condição essencial mas não suficiente para se evitarem as falhas de concretagem. Um estudo de dosagem criterioso se mostra uma ferramenta de suma importância para se chegar a um concreto com características adequadas à estrutura em que será aplicado e aos meios utilizados para tal.

## 8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No presente estudo, a metodologia GDE/UnB foi avaliada como uma alternativa à metodologia atualmente utilizada pelo DNIT para a priorização da aplicação de recursos nas intervenções em OAEs. Além da revisão bibliográfica, foram apresentados os resultados da metodologia proposta.

### 8.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia utilizada pelo DNIT utiliza uma escala de classificação que possui cinco níveis e em um estoque numeroso de estruturas, muitas delas serão avaliadas com a mesma nota, e o único critério de desempate previsto é o VMD, que é característico de um segmento da pista. Esse segmento pode conter várias OAEs com mesma nota técnica, como ocorreu na BR-450/DF, que teve todas as nove estruturas avaliadas com nota 3. Nesse caso a metodologia GDE/UnB surgiu como uma hipótese para a solução dessa questão.

A execução da metodologia descrita no item 5 se iniciou pela adaptação da metodologia GDE/UnB para sua aplicação em inspeções rotineiras de OAEs. A adaptação contemplou a eliminação de ensaios de campo, uma vez que essas inspeções são essencialmente visuais, e a inclusão de famílias não contempladas por Euqeres (2011).

A metodologia GDE/UnB foi aplicada para a determinação do *grau de deterioração* das 22 OAEs de duas formas distintas: na primeira foram considerados apenas os valores de  $G_{de}$  maiores ou iguais a 15 ( $G_d$ ), e na segunda foram considerados todos os valores de  $G_{de}$  ( $G_d^*$ ). Em quatro OAEs o valor de  $G_d^*$  foi superior a  $G_d$ , em média 0,54%, nas demais OAEs o valor de  $G_d$  foi maior que  $G_d^*$  em média 31,13%.

Após a verificação das divergências relatadas no parágrafo anterior e a realização das simulações apresentadas no item 7.2, se constatou que a consideração apenas dos *danos expressivos* se adequa melhor à formulação da metodologia GDE/UnB com as alterações propostas por Fonseca (2007). Entretanto, durante as referidas simulações se observou que em uma situação de intervenção parcial em um OAE, em que fossem feitas intervenções apenas em danos de baixa intensidade, o novo cálculo de  $G_d$  resultaria em um valor maior que o anterior, dando a impressão que o nível de deterioração da estrutura piorou, apesar de terem sido empenhados recursos na OAE. Constatou-se que esse comportamento da

Equação 3.5 se deve ao fato de se tratar de uma média ponderada, em que os *graus de deterioração das famílias* são ponderados em função dos respectivos *fatores de relevância estrutural* ( $F_r$ ).

Nesse caso, o gestor da estrutura teria uma informação contraditória, indicando que, apesar do investimento feito, a condição da OAE se agrava. Esse fato motivou a investigação de uma nova equação para o cálculo do *grau de deterioração da estrutura*. Como premissa, se definiu que a nova equação deveria manter duas características que a metodologia do DNIT não apresenta: ponderação em função do elemento onde o dano está instalado, e a consideração da relevância da família à qual pertence o elemento danificado. Como resultado se obteve a Equação 7.2, que foi aplicada às 22 OAEs inspecionadas, os resultados se mostraram mais consistentes quando considerados todos os valores de  $G_{de}$ , uma vez que, mesmo em casos de estruturas com danos de baixa intensidade, seria possível a priorização entre elas.

Após a inspeção e análise dos resultados, os danos foram tabulados e analisados quanto à sua ocorrência.

## 8.2. CONCLUSÕES

As conclusões deste trabalho são elencadas a seguir:

- A metodologia GDE/UnB passou por adaptações para sua utilização em inspeções rotineiras de OAEs rodoviárias, tendo como base o estudo feito por Euqueres (2011). Considerando que as inspeções rotineiras são essencialmente visuais, os danos que necessitavam de ensaios de campo para sua constatação foram eliminados. Outro ajuste necessário foi a inclusão de duas novas famílias de elementos: travessas e transversinas.
- Todas as 22 OAEs selecionadas foram inspecionadas e avaliadas de acordo com as metodologias GDE/UnB e SGO/DNIT, sendo obtidos os *fatores de intensidade* e os *fatores de ponderação dos danos*, que são usados para o cálculo dos valores do *grau do dano* para cada OAE, e as *notas técnicas* dos elementos de todas as estruturas inspecionadas.
- Os resultados das simulações de intervenções nas OAEs mostraram que a formulação proposta por Fonseca (2007), também utilizada por Euqueres (2011), não reflete as

intervenções feitas nas estruturas. As simulações mostraram, ainda, que em alguns casos, mesmo após a realização de intervenções, o *grau de deterioração* ( $G_d$ ) das estruturas aumentou. O contrário também ocorreu: a inclusão de novos danos provocou a redução do *grau de deterioração*.

- Uma nova formulação para o cálculo do *grau de deterioração* foi proposta e testada nas 22 OAEs inspecionadas. Essa formulação foi utilizada para a realização das mesmas simulações de intervenção realizadas com a formulação proposta por Fonseca (2007), e os resultados se mostraram coerentes com as intervenções realizadas e com o surgimento de novos danos.
- Os resultados obtidos pela aplicação da Equação 7.2 às 22 OAEs inspecionadas, se mostraram mais consistentes quando considerados todos os valores de  $G_{de}$ , inclusive os menores que 15, uma vez que, mesmo em casos de estruturas com danos de baixa intensidade, seria possível a priorização entre elas.
- Os resultados obtidos pela metodologia SGO/DNIT mostraram que, das 22 estruturas inspecionadas, cinco obtiveram *nota técnica* igual a 2, sendo portanto prioridade em relação às demais estruturas no que se refere à aplicação de recursos. Ao definir qual dessas cinco estruturas teria prioridade em relação às outras, o critério de desempate se mostrou ineficiente, uma vez que todas as cinco estruturas estão inseridas no mesmo segmento da via. O mesmo ocorre com as estruturas com as estruturas com *nota técnica* igual a 3, sendo nove na BR-450/DF e cinco na via L4.
- Tendo como referência o *Roteiro de inspeção em estruturas de concreto armado* (FONSECA, 2007) e *Roteiro de inspeção de pontes de concreto armado* (EUQUERES, 2011), foi elaborado o *Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB a OAEs*. Esse manual incorpora as recentes recomendações da NBR 6118:2014 bem como a fórmula de cálculo do *grau de deterioração da estrutura* proposta nesta pesquisa (Equação 7.2).
- Após a tabulação dos danos foi possível a avaliação da incidência dos mesmos. Os três danos de maior incidência foram as fissuras, com 266 ocorrências, as falhas de concretagem e as manchas, com 131 ocorrências cada. As fissuras se mostraram mais frequentes nas lajes, com 175 das 266 ocorrências. As falhas de concretagem tiveram maior incidência nos pilares, com 52 ocorrências, e as manchas tiveram maior incidência nas lajes, com 84 das 131 ocorrências.

Após o cumprimento dos objetivos específicos este trabalho, concluiu-se que a aplicação da metodologia GDE/UnB, com as adaptações descritas em 5.1 e com a formulação proposta no item 7.3, apresentou como resultado valores mais escalonados, minimizando as chances de duas OAEs serem avaliadas com o mesmo *grau de deterioração*. Nesse sentido, a metodologia GDE/UnB se mostrou adequada como uma alternativa à metodologia atualmente utilizada pelo DNIT para alimentação do SGO.

### **8.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

São apresentados a seguir algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliação da aplicação da metodologia GDE/UnB em túneis;
- Avaliação dos *fatores de intensidade, fatores de ponderação do dano e fatores de relevância estrutural* utilizados pela metodologia GDE/UnB para diferentes tipos de estrutura (edifícios, OAEs, túneis, passarelas, etc.);
- Estudo dos serviços de manutenção para diferentes sistemas estruturais de OAEs e em diferentes níveis de deterioração;
- Estudo de custos para os serviços de manutenção relacionados no item anterior;
- Estudo de modelos de deterioração aplicáveis a estruturas de OAEs;
- Estudo de modelos econômicos aplicáveis à gestão de OAEs;
- Avaliação de sistemas de gestão de OAEs comerciais aplicáveis às OAEs brasileiras; e
- Estudo com vistas à proposição de ensaios não destrutivos nas inspeções especiais de OAEs.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. M. M. R. M. O. **Gestão de pontes rodoviárias**: Um modelo aplicável em Portugal. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2003. 256 p.
- ALMEIDA, J. M. M. R. M. O. **Sistema de gestão de pontes com base em custos de ciclo de vida**. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013. 380 p.
- ANDRADE, T. Patologia das estruturas. In: ISAIA, G. C. **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 953-983.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO. **The manual for bridge evaluation**. 2 ed. Washington, 2013, 558 p.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI. **238.1R-08. Guide for consolidation of concrete**. 2008a.
- \_\_\_\_\_. **309R-05. Guide for consolidation of concrete**. 2005.
- \_\_\_\_\_. **309.1R-08. Report on behavior of fresh concrete during vibration**. 2008b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**, Rio de Janeiro, 2014, 238p.
- \_\_\_\_\_. ABNT, **NBR 9452: Vistoria de pontes e viadutos de concreto**, Rio de Janeiro, 2012, 11 p.
- \_\_\_\_\_. ABNT, **NBR 16230: Inspeção de estruturas de concreto - Qualificação e certificação de pessoal - Requisitos**, Rio de Janeiro, 2013, 19 p.
- \_\_\_\_\_. ABNT, **NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho**, Rio de Janeiro, 2013, 60 p.
- BAROGHEL-BOUNY, V.; CAPRA, B.; LAURENS, S. A durabilidade das armaduras e do concreto de cobrimento. In: OLLIVIER, J., VICHOT, A. **Durabilidade do concreto**: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. São Paulo: IBRACON, 2014. p. 254-326.
- BARONE, G. FRANGOPOL, D. M. **Reliability, risk and lifetime distributions as performance indicators for life-cycle maintenance of deteriorating structures**. *Reliability Engineering and System Safety*, n. 123, 21–37, 2014.
- BERTOLINI, L. **Materiais de construção**: patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 414 p.

- BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 295p.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: Uma Introdução**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2013. 817 p.
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.
- CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994. 185 p.
- CEB-FIB. *bulletin 17 - Management, maintenance and strengthening of concrete structures, Technical Report*, 2002.
- CHANTER, B.; SWALLOW, P. **Building maintenance management**. 2 ed. Malden, MA: Blackwell, 2007. 317 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Manual de projetos de obras-de-arte especiais**, Rio de Janeiro, RJ, 1996. 225 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Implantação e operação em âmbito nacional do sistema de gerenciamento de pontes - 3ª fase, Relatório final**, Brasília, DF, 2004a. 5 v.
- \_\_\_\_\_. **Manual de inspeção de pontes rodoviárias**, 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ, 2004b. 253 p.
- \_\_\_\_\_. **NORMA DNIT 010: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento**. Brasília, 2004c. 18 p.
- \_\_\_\_\_. **RESOLUÇÃO Nº 11**, de 19 de outubro de 2004. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo. Brasília, DF, 25 out. 2004d.
- DYER, T. **A durabilidade do concreto**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2015. 515 p.
- EUQUERES, P. **Metodologia de inspeção de pontes de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2011. 168 p.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA, **Bridge inspector's reference manual**. Arlington, Virginia, 2012, 2 v.
- FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. 213 p.

- FONTES, F. F. VERLY, R. C. SANTOS, G. S. MAGALHÃES, E. P. *A bridge management system for Brazil*. In: IABMAS 2014 - *Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability*, Stresa, Italy, 537–543, 2014.
- HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1992. 213 p.
- KHAN, M. A. **Bridge and highway: Structure, rehabilitation and repair**, 1th ed. Oxford: McGraw-Hill Professional, 2010. 632 p.
- KLEIN, D. L.; GASTAL, F. P. S. L.; CAMPAGNOLO, J. L.; SILVA FILHO, L. C. P. Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte. In: XXV JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 1991, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1991, p. 185-197.
- LARRARD, F. **Concrete Mixture Proportioning: a scientific approach**. Londres: Routledge, 1999. 421 p. (*Modern Concrete Technology Series*).
- LOPES, B. A. R. **Sistema de manutenção predial para grades estoques de edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998. 308 p.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.
- RIBEIRO, D. V.; CUNHA, M. P. T. Deterioração das estruturas de concreto armado. In: RIBEIRO, D. V. **Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e métodos de análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. p. 87-118.
- ROSA, F. B. **Comparação das metodologias de inspeção de obras de arte: Metodologias GDE/UnB e DNIT**. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014. 110 p.
- RYALL, M. J. **Bridge management**. 2 ed. Oxford: Elsevier, 2010. 560 p.
- SANTOS, L. **Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 161p
- SHOHET, I. M.; ROSENFELD, Y.; PUTERMAN, M.; GILBOA, E. **Deterioration patterns for maintenance management - a methodological approach**. *Durability of Building Materials and Components*. Institute for Research in Construction, Ottawa, Canada, 1999, pp. 1666-1678.
- SILVA, M. R.; PINHEIRO, S. M. M. Biodeterioração do concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 2 v. p. 857-878.

- SMITH, N. J.; SILVA FILHO, L. C. P. *Economic appraisal in advanced bridge management systems*. In: IBMC, 1999, Denver. **Transportation Research Circular 498** - *Presentations from the 8th International Bridge Management Conference*. Washington, D.C.: *Transportation Research Board*, 1999. v. I.
- SOUSA, C. A. C. Princípios da corrosão eletroquímica. In: RIBEIRO, D. V. **Corrosão em estruturas de concreto armado**: Teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. p. 13-35.
- SOUZA, V. C. RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1999. 257 p.
- TUUTTI, K. *Corrosion steel in concrete*. *Swedish Cement and Concrete Research Institute*, Stockholm, 1982.
- VAN DER TOORN, A. *The maintenance of civil engineering structures*. Heron. s.1. v. 39, n. 4. p. 3-34, 1992.

## **APÊNDICE A**

Listagem dos danos - metodologia GDE/UnB

É apresentada na Tabela A1 a listagem dos danos identificados durante a vistoria da 22 OAEs relacionadas na Tabela 5.1. Podem ser identificados na listagem a OAE, a rodovia ou via onde a estrutura está localizada, a família e o elemento do dano, a descrição do dano e os respectivos valores de  $F_p$  e  $F_i$  do dano.

Tabela A1 - Listagem dos danos.

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	$F_p$	$F_i$
1	450	Pilares	P1	Falha de concretagem	3	1
1	450	Pilares	P1	Fissuras	3	3
1	450	Pilares	P3	Falha de concretagem	3	1
1	450	Pilares	P3	Fissuras	3	3
1	450	Vigas	V1	Cobrimento deficiente	3	2
1	450	Vigas	V1	Corrosão de armaduras	5	2
1	450	Vigas	V1	Falha de concretagem	2	3
1	450	Vigas	V1	Manchas	3	2
1	450	Vigas	V6	Cobrimento deficiente	3	2
1	450	Vigas	V6	Corrosão de armaduras	5	2
1	450	Vigas	V8	Manchas	3	2
1	450	Vigas	V9	Falha de concretagem	2	1
1	450	Vigas	V9	Manchas	3	2
1	450	Transversinas	T1	Cobrimento deficiente	3	2
1	450	Transversinas	T1	Corrosão de armaduras	5	2
1	450	Transversinas	T1	Falha de concretagem	2	1
1	450	Transversinas	T4	Falha de concretagem	2	1
1	450	Transversinas	T5	Falha de concretagem	2	1
1	450	Transversinas	T5	Manchas	3	3
1	450	Transversinas	T7	Falha de concretagem	2	1
1	450	Lajes	L7	Eflorescência	2	2
1	450	Lajes	L9	Eflorescência	2	2
1	450	Lajes	L9	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L9	Manchas	3	2
1	450	Lajes	L16	Eflorescência	2	2
1	450	Lajes	L16	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L16	Manchas	3	2
1	450	Lajes	L33	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L34	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L35	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L36	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L37	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L38	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L38	Manchas	3	2
1	450	Lajes	L39	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L39	Manchas	3	2

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
1	450	Lajes	L40	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L41	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L41	Manchas	3	2
1	450	Lajes	L42	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L43	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L44	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L45	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L46	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L47	Fissuras	4	2
1	450	Lajes	L47	Manchas	3	2
1	450	Lajes	L70	Manchas	3	2
1	450	Cortinas e alas	C1	Eflorescência	2	2
1	450	Cortinas e alas	C1	Falha de concretagem	2	2
1	450	Cortinas e alas	C2	Cobrimto deficiente	3	3
1	450	Cortinas e alas	C2	Corrosão de armaduras	5	2
1	450	Cortinas e alas	C2	Eflorescência	2	2
1	450	Cortinas e alas	C2	Falha de concretagem	2	3
1	450	Cortinas e alas	A1D	Falha de concretagem	2	2
1	450	Cortinas e alas	A1E	Falha de concretagem	2	2
1	450	Barr, GR e GC	B1	Fissuras	4	3
1	450	Barr, GR e GC	B1	Manchas	3	2
1	450	Barr, GR e GC	B2	Fissuras	4	3
1	450	Barr, GR e GC	B2	Manchas	3	2
2	450	Pilares	P1	Sinais de esmagamento	5	3
2	450	Pilares	P2	Cobrimto deficiente	3	2
2	450	Pilares	P2	Corrosão de armaduras	5	3
2	450	Pilares	P2	Desplacamento	3	3
2	450	Travessas	TR1	Falha de concretagem	2	2
2	450	Vigas	V1	Cobrimto deficiente	3	2
2	450	Vigas	V1	Corrosão de armaduras	5	2
2	450	Vigas	V1	Desplacamento	3	3
2	450	Vigas	V1	Fissuras	4	2
2	450	Vigas	V3	Cobrimto deficiente	3	2
2	450	Vigas	V3	Corrosão de armaduras	5	2
2	450	Vigas	V3	Falha de concretagem	2	3
2	450	Vigas	V4	Cobrimto deficiente	3	2
2	450	Vigas	V4	Corrosão de armaduras	5	2
2	450	Transversinas	T1	Manchas	3	2
2	450	Lajes	L1	Cobrimto deficiente	3	3
2	450	Lajes	L1	Corrosão de armaduras	5	3
2	450	Lajes	L1	Desplacamento	3	3
2	450	Lajes	L1	Eflorescência	2	4
2	450	Lajes	L1	Manchas	3	2
2	450	Lajes	L2	Cobrimto deficiente	3	2

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
2	450	Lajes	L2	Corrosão de armaduras	5	2
2	450	Lajes	L2	Desplacamento	3	3
2	450	Lajes	L2	Eflorescência	2	3
2	450	Lajes	L2	Fissuras	4	2
2	450	Lajes	L3	Cobrimento deficiente	3	2
2	450	Lajes	L3	Corrosão de armaduras	5	3
2	450	Lajes	L3	Desplacamento	3	3
2	450	Lajes	L3	Eflorescência	2	3
2	450	Lajes	L3	Manchas	3	2
2	450	Lajes	L5	Cobrimento deficiente	3	2
2	450	Lajes	L5	Corrosão de armaduras	5	3
2	450	Lajes	L5	Desplacamento	3	3
2	450	Lajes	L5	Eflorescência	2	2
2	450	Lajes	L5	Manchas	3	2
2	450	Cortinas e alas	C2	Manchas	3	2
2	450	Barr, GR e GC	B1	Cobrimento deficiente	3	2
2	450	Barr, GR e GC	B1	Corrosão de armaduras	5	2
2	450	Barr, GR e GC	B1	Desplacamento	3	4
2	450	Barr, GR e GC	B1	Fissuras	4	2
2	450	Barr, GR e GC	B2	Cobrimento deficiente	3	2
2	450	Barr, GR e GC	B2	Corrosão de armaduras	5	2
2	450	Barr, GR e GC	B2	Desplacamento	3	4
2	450	Barr, GR e GC	B2	Fissuras	4	2
2	450	Barr, GR e GC	GC1	Fissuras	4	2
3	450	Pilares	P1	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Pilares	P1	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Pilares	P1	Desplacamento	3	2
3	450	Travessas	TR3	Fissuras	4	3
3	450	Vigas	V1	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Vigas	V1	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Vigas	V1	Falha de concretagem	2	2
3	450	Vigas	V1	Fissuras	4	2
3	450	Vigas	V2	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Vigas	V2	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Vigas	V2	Desplacamento	3	3
3	450	Vigas	V3	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Vigas	V3	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Vigas	V3	Falha de concretagem	2	3
3	450	Vigas	V4	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Vigas	V4	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Vigas	V5	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Vigas	V5	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Vigas	V6	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Vigas	V6	Corrosão de armaduras	5	2



OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
3	450	Vigas	V6	Fissuras	4	3
3	450	Transversinas	T3	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Transversinas	T3	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Transversinas	T3	Falha de concretagem	2	3
3	450	Lajes	L1	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Lajes	L1	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Lajes	L1	Desplacamento	3	3
3	450	Lajes	L1	Eflorescência	2	4
3	450	Lajes	L1	Manchas	3	2
3	450	Lajes	L2	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Lajes	L2	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Lajes	L2	Desplacamento	3	3
3	450	Lajes	L2	Eflorescência	2	2
3	450	Lajes	L3	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Lajes	L3	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Lajes	L3	Desplacamento	3	3
3	450	Lajes	L5	Eflorescência	2	2
3	450	Lajes	L5	Fissuras	4	2
3	450	Lajes	L7	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Lajes	L7	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Lajes	L7	Eflorescência	2	2
3	450	Lajes	L7	Fissuras	4	2
3	450	Lajes	L8	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Lajes	L8	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Lajes	L8	Eflorescência	2	2
3	450	Lajes	L8	Fissuras	4	2
3	450	Lajes	L9	Cobrimento deficiente	3	2
3	450	Lajes	L9	Corrosão de armaduras	5	2
3	450	Lajes	L9	Eflorescência	2	4
3	450	Lajes	L9	Fissuras	4	2
3	450	Lajes	L9	Manchas	3	2
3	450	Cortinas e alas	C2	Cobrimento deficiente	3	3
3	450	Cortinas e alas	C2	Corrosão de armaduras	5	3
3	450	Cortinas e alas	C2	Desplacamento	3	3
4	450	Pilares	P1	Falha de concretagem	3	1
4	450	Pilares	P1	Fissuras	5	1
4	450	Pilares	P4	Fissuras	3	1
4	450	Pilares	P8	Falha de concretagem	3	1
4	450	Pilares	P8	Fissuras	5	1
4	450	Pilares	P9	Fissuras	5	1
4	450	Pilares	P10	Fissuras	5	2
4	450	Pilares	P11	Fissuras	5	2
4	450	Pilares	P12	Fissuras	5	2
4	450	Lajes	L1	Eflorescência	2	2

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
4	450	Lajes	L1	Falha de concretagem	2	1
4	450	Lajes	L1	Manchas	3	2
4	450	Cortinas e alas	A2D	Desplacamento	3	4
4	450	Cortinas e alas	C2	Cobrimento deficiente	3	2
4	450	Cortinas e alas	C2	Corrosão de armaduras	5	2
4	450	Cortinas e alas	C2	Falha de concretagem	2	3
4	450	Cortinas e alas	C2	Manchas	3	3
4	450	Barr, GR e GC	B1	Fissuras	4	3
4	450	Barr, GR e GC	B2	Fissuras	4	3
5	450	Pilares	P1	Falha de concretagem	3	1
5	450	Pilares	P2	Falha de concretagem	3	1
5	450	Pilares	P3	Cobrimento deficiente	3	2
5	450	Pilares	P3	Corrosão de armaduras	5	3
5	450	Pilares	P3	Desplacamento	3	3
5	450	Pilares	P4	Fissuras	5	3
5	450	Pilares	P5	Cobrimento deficiente	3	2
5	450	Pilares	P5	Corrosão de armaduras	5	2
5	450	Pilares	P5	Danos por impacto	5	3
5	450	Pilares	P8	Danos por impacto	5	2
5	450	Pilares	P9	Falha de concretagem	3	1
5	450	Pilares	P10	Cobrimento deficiente	3	2
5	450	Pilares	P10	Corrosão de armaduras	5	3
5	450	Pilares	P10	Desplacamento	3	3
5	450	Pilares	P10	Falha de concretagem	3	1
5	450	Pilares	P11	Cobrimento deficiente	3	2
5	450	Pilares	P11	Corrosão de armaduras	5	3
5	450	Pilares	P11	Desplacamento	3	3
5	450	Pilares	P12	Cobrimento deficiente	3	2
5	450	Pilares	P12	Corrosão de armaduras	5	3
5	450	Pilares	P12	Desplacamento	3	3
5	450	Lajes	L1	Desagregação	3	2
5	450	Lajes	L1	Eflorescência	2	2
5	450	Lajes	L1	Manchas	3	2
5	450	Cortinas e alas	A1E	Manchas	3	2
5	450	Cortinas e alas	A2E	Falha de concretagem	2	1
5	450	Cortinas e alas	A2E	Manchas	3	2
5	450	Cortinas e alas	C1	Falha de concretagem	2	1
5	450	Cortinas e alas	C2	Cobrimento deficiente	3	2
5	450	Cortinas e alas	C2	Corrosão de armaduras	5	2
5	450	Cortinas e alas	C2	Falha de concretagem	2	1
5	450	Barr, GR e GC	B1	Fissuras	4	2
5	450	Barr, GR e GC	B2	Fissuras	4	2
6	450	Vigas	V1	Fissuras	4	2
6	450	Vigas	V4	Fissuras	4	4

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
6	450	Vigas	V4	Manchas	3	2
6	450	Lajes	L4	Falha de concretagem	2	1
6	450	Lajes	L6	Eflorescência	2	2
7	450	Vigas	V1	Cobrimto deficiente	3	2
7	450	Vigas	V1	Corrosão de armaduras	5	2
7	450	Vigas	V1	Falha de concretagem	2	3
7	450	Vigas	V1	Fissuras	4	3
7	450	Vigas	V1	Manchas	3	2
7	450	Vigas	V2	Cobrimto deficiente	3	2
7	450	Vigas	V2	Corrosão de armaduras	5	2
7	450	Vigas	V2	Falha de concretagem	2	3
7	450	Vigas	V2	Fissuras	4	2
7	450	Vigas	V2	Manchas	3	2
7	450	Transversinas	T1	Fissuras	3	2
7	450	Transversinas	T2	Fissuras	3	2
7	450	Transversinas	T3	Fissuras	3	2
7	450	Lajes	L1	Cobrimto deficiente	3	2
7	450	Lajes	L1	Corrosão de armaduras	5	2
7	450	Lajes	L1	Manchas	3	2
7	450	Lajes	L2	Cobrimto deficiente	3	2
7	450	Lajes	L2	Corrosão de armaduras	5	2
7	450	Lajes	L2	Fissuras	4	2
7	450	Lajes	L3	Eflorescência	2	4
7	450	Lajes	L3	Manchas	3	2
7	450	Lajes	L4	Eflorescência	2	2
8	450	Pilares	P3	Fissuras	5	2
8	450	Pilares	P4	Cobrimto deficiente	3	2
8	450	Pilares	P4	Corrosão de armaduras	5	2
8	450	Pilares	P4	Falha de concretagem	3	1
8	450	Pilares	P5	Fissuras	5	2
8	450	Pilares	P6	Falha de concretagem	3	1
8	450	Pilares	P7	Fissuras	5	2
8	450	Lajes	L1	Corrosão de armaduras	5	3
8	450	Lajes	L1	Eflorescência	2	2
8	450	Lajes	L1	Fissuras	4	3
8	450	Lajes	L1	Manchas	3	2
9	450	Pilares	P4	Fissuras	5	1
9	450	Pilares	P5	Falha de concretagem	3	1
9	450	Pilares	P6	Falha de concretagem	3	1
9	450	Pilares	P6	Fissuras	5	1
9	450	Pilares	P7	Cobrimto deficiente	3	2
9	450	Pilares	P7	Corrosão de armaduras	5	3
9	450	Pilares	P7	Desplacamento	3	3
9	450	Pilares	P7	Falha de concretagem	3	2

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
9	450	Pilares	P7	Fissuras	5	1
9	450	Lajes	L1	Cobrimento deficiente	3	2
9	450	Lajes	L1	Corrosão de armaduras	5	2
9	450	Lajes	L1	Eflorescência	2	1
9	450	Lajes	L1	Falha de concretagem	2	2
9	450	Lajes	L1	Fissuras	4	1
9	450	Lajes	L2	Cobrimento deficiente	3	2
9	450	Lajes	L2	Corrosão de armaduras	5	2
9	450	Lajes	L2	Eflorescência	2	1
9	450	Lajes	L2	Fissuras	4	1
10	L4	Pilares	P1	Cobrimento deficiente	3	2
10	L4	Pilares	P1	Corrosão de armaduras	5	2
10	L4	Pilares	P1	Falha de concretagem	3	3
10	L4	Pilares	P2	Cobrimento deficiente	3	2
10	L4	Pilares	P2	Corrosão de armaduras	5	3
10	L4	Pilares	P2	Desplacamento	3	3
10	L4	Pilares	P3	Falha de concretagem	3	1
10	L4	Pilares	P4	Cobrimento deficiente	3	2
10	L4	Pilares	P4	Corrosão de armaduras	5	2
10	L4	Pilares	P4	Falha de concretagem	3	3
10	L4	Pilares	P5	Cobrimento deficiente	3	2
10	L4	Pilares	P5	Corrosão de armaduras	5	3
10	L4	Pilares	P5	Desplacamento	3	3
10	L4	Pilares	P5	Eflorescência	2	4
10	L4	Pilares	P5	Falha de concretagem	3	2
10	L4	Lajes	L1	Eflorescência	2	4
10	L4	Lajes	L1	Fissuras	4	2
10	L4	Lajes	L1	Manchas	3	2
11	L4	Pilares	P1	Cobrimento deficiente	3	2
11	L4	Pilares	P1	Corrosão de armaduras	5	4
11	L4	Pilares	P1	Desplacamento	3	3
11	L4	Pilares	P1	Falha de concretagem	3	3
11	L4	Pilares	P2	Cobrimento deficiente	3	2
11	L4	Pilares	P2	Corrosão de armaduras	5	3
11	L4	Pilares	P2	Desplacamento	3	3
11	L4	Pilares	P2	Falha de concretagem	3	3
11	L4	Pilares	P3	Cobrimento deficiente	3	2
11	L4	Pilares	P3	Corrosão de armaduras	5	3
11	L4	Pilares	P3	Desplacamento	3	3
11	L4	Pilares	P3	Falha de concretagem	3	3
11	L4	Pilares	P3	Fissuras	5	3
11	L4	Pilares	P5	Cobrimento deficiente	3	2
11	L4	Pilares	P5	Corrosão de armaduras	5	3
11	L4	Pilares	P5	Desplacamento	3	3

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
11	L4	Pilares	P5	Falha de concretagem	3	3
11	L4	Pilares	P6	Cobrimento deficiente	3	2
11	L4	Pilares	P6	Corrosão de armaduras	5	3
11	L4	Pilares	P6	Desplacamento	3	3
11	L4	Lajes	L1	Cobrimento deficiente	3	2
11	L4	Lajes	L1	Corrosão de armaduras	5	2
11	L4	Lajes	L1	Eflorescência	2	4
11	L4	Lajes	L1	Falha de concretagem	2	3
12	L4	Pilares	P1	Cobrimento deficiente	3	2
12	L4	Pilares	P1	Corrosão de armaduras	5	3
12	L4	Pilares	P1	Desplacamento	3	3
12	L4	Pilares	P2	Cobrimento deficiente	3	2
12	L4	Pilares	P2	Corrosão de armaduras	5	3
12	L4	Pilares	P2	Desplacamento	3	3
12	L4	Pilares	P3	Falha de concretagem	3	1
12	L4	Pilares	P4	Falha de concretagem	3	1
12	L4	Pilares	P5	Cobrimento deficiente	3	2
12	L4	Pilares	P5	Corrosão de armaduras	5	3
12	L4	Pilares	P5	Desplacamento	3	3
12	L4	Pilares	P6	Cobrimento deficiente	3	3
12	L4	Pilares	P6	Corrosão de armaduras	5	4
12	L4	Pilares	P6	Desplacamento	3	3
12	L4	Lajes	L1	Cobrimento deficiente	3	2
12	L4	Lajes	L1	Corrosão de armaduras	5	2
12	L4	Lajes	L1	Desplacamento	3	4
12	L4	Lajes	L1	Fissuras	4	3
13	L4	Pilares	P1	Cobrimento deficiente	3	2
13	L4	Pilares	P1	Corrosão de armaduras	5	2
13	L4	Pilares	P1	Falha de concretagem	3	3
13	L4	Pilares	P2	Falha de concretagem	3	1
13	L4	Pilares	P3	Falha de concretagem	3	1
13	L4	Pilares	P4	Falha de concretagem	3	2
13	L4	Pilares	P5	Cobrimento deficiente	3	2
13	L4	Pilares	P5	Corrosão de armaduras	5	4
13	L4	Pilares	P5	Desplacamento	3	3
13	L4	Pilares	P6	Falha de concretagem	3	1
13	L4	Lajes	L1	Cobrimento deficiente	3	2
13	L4	Lajes	L1	Corrosão de armaduras	5	2
13	L4	Lajes	L1	Eflorescência	2	4
13	L4	Lajes	L1	Falha de concretagem	2	3
13	L4	Lajes	L1	Fissuras	4	3
14	L4	Pilares	P1	Manchas	3	2
14	L4	Pilares	P2	Falha de concretagem	3	1
14	L4	Pilares	P3	Falha de concretagem	3	1

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
14	L4	Pilares	P4	Falha de concretagem	3	1
14	L4	Pilares	P4	Manchas	3	2
14	L4	Pilares	P5	Falha de concretagem	3	1
14	L4	Pilares	P5	Fissuras	3	2
14	L4	Pilares	P6	Falha de concretagem	3	1
14	L4	Pilares	P6	Fissuras	3	2
14	L4	Pilares	P7	Falha de concretagem	3	1
14	L4	Pilares	P7	Fissuras	3	1
14	L4	Pilares	P8	Falha de concretagem	3	1
14	L4	Pilares	P8	Manchas	3	2
14	L4	Pilares	P10	Cobrimento deficiente	3	2
14	L4	Pilares	P10	Corrosão de armaduras	5	2
14	L4	Pilares	P10	Falha de concretagem	3	2
14	L4	Travessas	TR01	Falha de concretagem	2	1
14	L4	Travessas	TR01	Fissuras	3	1
14	L4	Travessas	TR01	Manchas	3	2
14	L4	Travessas	TR02	Falha de concretagem	2	1
14	L4	Travessas	TR02	Fissuras	3	1
14	L4	Travessas	TR02	Manchas	3	2
14	L4	Travessas	TR03	Falha de concretagem	2	1
14	L4	Travessas	TR03	Manchas	3	2
14	L4	Vigas	V1	Desplacamento	3	1
14	L4	Vigas	V1	Falha de concretagem	2	1
14	L4	Vigas	V2	Desplacamento	3	1
14	L4	Vigas	V2	Falha de concretagem	2	1
14	L4	Vigas	V3	Cobrimento deficiente	3	2
14	L4	Vigas	V3	Corrosão de armaduras	5	2
14	L4	Vigas	V3	Falha de concretagem	2	3
14	L4	Vigas	V4	Desplacamento	3	2
14	L4	Vigas	V4	Eflorescência	2	2
14	L4	Vigas	V4	Falha de concretagem	2	1
14	L4	Vigas	V5	Falha de concretagem	2	1
14	L4	Vigas	V6	Desplacamento	3	2
14	L4	Vigas	V6	Falha de concretagem	2	1
14	L4	Vigas	V7	Desplacamento	3	2
14	L4	Vigas	V7	Eflorescência	2	2
14	L4	Vigas	V7	Falha de concretagem	2	1
14	L4	Vigas	V7	Manchas	3	2
14	L4	Vigas	V8	Falha de concretagem	2	1
14	L4	Transversinas	T2	Eflorescência	2	2
14	L4	Transversinas	T2	Falha de concretagem	2	1
14	L4	Lajes	L8	Eflorescência	2	2
14	L4	Lajes	L8	Fissuras	4	3
14	L4	Lajes	L9	Fissuras	4	3

OAE	Rodovia / Via	Familia	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
14	L4	Lajes	L10	Fissuras	4	3
14	L4	Lajes	L11	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L12	Eflorescência	2	2
14	L4	Lajes	L12	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L13	Eflorescência	2	2
14	L4	Lajes	L13	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L13	Manchas	3	2
14	L4	Lajes	L14	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L16	Desplacamento	3	2
14	L4	Lajes	L16	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L17	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L18	Desplacamento	3	2
14	L4	Lajes	L18	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L19	Desplacamento	3	2
14	L4	Lajes	L19	Fissuras	4	3
14	L4	Lajes	L20	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L20	Manchas	3	2
14	L4	Lajes	L21	Eflorescência	2	2
14	L4	Lajes	L21	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L23	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L24	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L25	Eflorescência	2	2
14	L4	Lajes	L25	Falha de concretagem	2	1
14	L4	Lajes	L25	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L25	Manchas	3	2
14	L4	Lajes	L26	Fissuras	4	3
14	L4	Lajes	L27	Eflorescência	2	2
14	L4	Lajes	L27	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L27	Manchas	3	2
14	L4	Lajes	L28	Eflorescência	2	2
14	L4	Lajes	L28	Fissuras	4	1
14	L4	Lajes	L28	Manchas	3	2
14	L4	Lajes	L30	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L31	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L32	Fissuras	4	4
14	L4	Lajes	L33	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L34	Eflorescência	2	2
14	L4	Lajes	L34	Fissuras	4	2
14	L4	Lajes	L34	Manchas	3	2
14	L4	Lajes	L35	Fissuras	4	3
14	L4	Cortinas e alas	C1	Cobrimento deficiente	3	2
14	L4	Cortinas e alas	C1	Corrosão de armaduras	5	2
14	L4	Cortinas e alas	C1	Falha de concretagem	2	3
14	L4	Barr, GR e GC	B1	Fissuras	3	1

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
14	L4	Barr, GR e GC	B1	Manchas	3	2
15	L4	Pilares	P5	Desplacamento	3	2
15	L4	Pilares	P5	Fissuras	3	2
15	L4	Pilares	P6	Falha de concretagem	3	1
15	L4	Pilares	P6	Fissuras	3	2
15	L4	Pilares	P7	Desplacamento	3	2
15	L4	Pilares	P7	Falha de concretagem	3	1
15	L4	Pilares	P7	Fissuras	3	2
15	L4	Pilares	P8	Desplacamento	3	2
15	L4	Pilares	P8	Fissuras	3	2
15	L4	Travessas	TR01	Falha de concretagem	2	1
15	L4	Travessas	TR01	Fissuras	3	2
15	L4	Travessas	TR01	Manchas	3	2
15	L4	Travessas	TR02	Cobrimto deficiente	3	2
15	L4	Travessas	TR02	Corrosão de armaduras	5	2
15	L4	Vigas	V1	Desplacamento	3	2
15	L4	Vigas	V1	Falha de concretagem	2	1
15	L4	Vigas	V1	Manchas	3	2
15	L4	Vigas	V2	Cobrimto deficiente	3	2
15	L4	Vigas	V2	Corrosão de armaduras	5	2
15	L4	Vigas	V2	Desplacamento	3	3
15	L4	Vigas	V2	Falha de concretagem	2	1
15	L4	Vigas	V3	Falha de concretagem	2	1
15	L4	Vigas	V4	Desplacamento	3	2
15	L4	Vigas	V4	Falha de concretagem	2	1
15	L4	Vigas	V5	Cobrimto deficiente	3	2
15	L4	Vigas	V5	Corrosão de armaduras	5	2
15	L4	Vigas	V5	Desplacamento	3	3
15	L4	Vigas	V5	Falha de concretagem	2	1
15	L4	Vigas	V6	Cobrimto deficiente	3	2
15	L4	Vigas	V6	Corrosão de armaduras	5	2
15	L4	Vigas	V6	Desplacamento	3	3
15	L4	Vigas	V6	Falha de concretagem	2	1
15	L4	Vigas	V7	Falha de concretagem	2	1
15	L4	Vigas	V8	Cobrimto deficiente	3	2
15	L4	Vigas	V8	Corrosão de armaduras	5	2
15	L4	Vigas	V8	Desplacamento	3	3
15	L4	Vigas	V8	Falha de concretagem	2	1
15	L4	Lajes	L8	Desplacamento	3	2
15	L4	Lajes	L8	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L9	Fissuras	4	3
15	L4	Lajes	L10	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L11	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L12	Fissuras	4	2



OAE	Rodovia / Via	Familia	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
15	L4	Lajes	L13	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L13	Manchas	3	2
15	L4	Lajes	L15	Desplacamento	3	2
15	L4	Lajes	L15	Eflorescência	2	2
15	L4	Lajes	L15	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L16	Desplacamento	3	2
15	L4	Lajes	L16	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L17	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L18	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L19	Desplacamento	3	2
15	L4	Lajes	L19	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L20	Eflorescência	2	2
15	L4	Lajes	L20	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L20	Manchas	3	2
15	L4	Lajes	L22	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L23	Eflorescência	2	2
15	L4	Lajes	L23	Fissuras	4	3
15	L4	Lajes	L23	Manchas	3	2
15	L4	Lajes	L24	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L25	Fissuras	4	3
15	L4	Lajes	L26	Cobrimto deficiente	3	2
15	L4	Lajes	L26	Corrosão de armaduras	5	2
15	L4	Lajes	L26	Desplacamento	3	3
15	L4	Lajes	L26	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L27	Cobrimto deficiente	3	2
15	L4	Lajes	L27	Corrosão de armaduras	5	2
15	L4	Lajes	L27	Desagregação	3	3
15	L4	Lajes	L27	Eflorescência	2	2
15	L4	Lajes	L27	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L29	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L30	Eflorescência	2	2
15	L4	Lajes	L30	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L30	Manchas	3	2
15	L4	Lajes	L31	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L32	Eflorescência	2	2
15	L4	Lajes	L32	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L32	Manchas	3	2
15	L4	Lajes	L33	Eflorescência	2	2
15	L4	Lajes	L33	Fissuras	4	2
15	L4	Lajes	L33	Manchas	3	2
15	L4	Lajes	L34	Eflorescência	2	2
15	L4	Lajes	L34	Fissuras	4	3
15	L4	Lajes	L34	Manchas	3	2
15	L4	Cortinas e alas	C2	Cobrimto deficiente	3	2

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
15	L4	Cortinas e alas	C2	Corrosão de armaduras	5	2
15	L4	Cortinas e alas	C2	Falha de concretagem	2	3
16	L4	Pilares	P1	Fissuras	5	4
16	L4	Pilares	P2	Falha de concretagem	3	1
16	L4	Pilares	P2	Fissuras	5	4
16	L4	Pilares	P2	Manchas	3	2
16	L4	Pilares	P3	Desplacamento	3	2
16	L4	Pilares	P3	Fissuras	5	4
16	L4	Pilares	P3	Manchas	3	2
16	L4	Pilares	P4	Desplacamento	3	2
16	L4	Pilares	P4	Fissuras	5	4
16	L4	Pilares	P4	Manchas	3	2
16	L4	Lajes	L1	Eflorescência	2	2
16	L4	Lajes	L1	Fissuras	4	2
16	L4	Lajes	L2	Fissuras	3	2
16	L4	Lajes	L3	Desplacamento	3	2
16	L4	Lajes	L3	Fissuras	4	2
16	L4	Lajes	L3	Manchas	3	2
16	L4	Lajes	L4	Fissuras	4	2
16	L4	Lajes	L5	Cobrimento deficiente	3	2
16	L4	Lajes	L5	Corrosão de armaduras	5	2
16	L4	Lajes	L5	Desplacamento	3	3
16	L4	Lajes	L5	Fissuras	3	2
16	L4	Cortinas e alas	C2	Fissuras	3	2
16	L4	Barr, GR e GC	B2	Fissuras	3	2
17	L4	Pilares	P1	Eflorescência	2	2
17	L4	Pilares	P1	Falha de concretagem	3	1
17	L4	Pilares	P1	Fissuras	5	4
17	L4	Pilares	P1	Manchas	3	2
17	L4	Pilares	P2	Falha de concretagem	3	1
17	L4	Pilares	P2	Fissuras	5	4
17	L4	Pilares	P2	Manchas	3	2
17	L4	Pilares	P3	Falha de concretagem	3	1
17	L4	Pilares	P3	Fissuras	5	4
17	L4	Pilares	P3	Manchas	3	2
17	L4	Pilares	P4	Desplacamento	3	2
17	L4	Pilares	P4	Falha de concretagem	3	1
17	L4	Pilares	P4	Fissuras	5	4
17	L4	Pilares	P4	Manchas	3	2
17	L4	Lajes	L1	Eflorescência	2	4
17	L4	Lajes	L1	Fissuras	3	2
17	L4	Lajes	L3	Cobrimento deficiente	3	2
17	L4	Lajes	L3	Corrosão de armaduras	5	2
17	L4	Lajes	L3	Desplacamento	3	3

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
17	L4	Lajes	L3	Eflorescência	2	2
17	L4	Lajes	L3	Fissuras	3	2
17	L4	Lajes	L3	Manchas	3	2
17	L4	Lajes	L4	Eflorescência	2	4
17	L4	Lajes	L4	Fissuras	3	2
17	L4	Lajes	L5	Fissuras	3	2
18	L4	Lajes	L1	Cobrimento deficiente	3	2
18	L4	Lajes	L1	Corrosão de armaduras	5	2
18	L4	Lajes	L1	Desplacamento	3	3
18	L4	Lajes	L1	Eflorescência	2	4
18	L4	Lajes	L1	Falha de concretagem	2	1
18	L4	Lajes	L1	Fissuras	4	2
18	L4	Lajes	L1	Manchas	3	2
18	L4	Barr, GR e GC	B1	Falha de concretagem	2	2
18	L4	Barr, GR e GC	B1	Fissuras	4	2
19	L4	Pilares	P1	Cobrimento deficiente	3	2
19	L4	Pilares	P1	Corrosão de armaduras	5	2
19	L4	Pilares	P1	Falha de concretagem	3	3
19	L4	Pilares	P2	Eflorescência	2	2
19	L4	Pilares	P3	Falha de concretagem	3	2
19	L4	Pilares	P4	Falha de concretagem	3	2
19	L4	Pilares	P16	Manchas	3	2
19	L4	Travessas	TR1	Falha de concretagem	2	1
19	L4	Travessas	TR1	Fissuras	3	2
19	L4	Travessas	TR2	Fissuras	3	2
19	L4	Travessas	TR2	Manchas	3	2
19	L4	Travessas	TR3	Fissuras	3	2
19	L4	Travessas	TR3	Manchas	3	2
19	L4	Travessas	TR4	Fissuras	4	2
19	L4	Vigas	V1	Cobrimento deficiente	3	2
19	L4	Vigas	V1	Corrosão de armaduras	5	2
19	L4	Vigas	V1	Desplacamento	3	1
19	L4	Vigas	V1	Fissuras	4	2
19	L4	Vigas	V1	Manchas	3	2
19	L4	Vigas	V2	Cobrimento deficiente	3	2
19	L4	Vigas	V2	Corrosão de armaduras	5	2
19	L4	Vigas	V2	Desplacamento	3	3
19	L4	Vigas	V2	Falha de concretagem	2	1
19	L4	Vigas	V2	Fissuras	4	2
19	L4	Vigas	V3	Cobrimento deficiente	3	2
19	L4	Vigas	V3	Corrosão de armaduras	5	2
19	L4	Vigas	V3	Falha de concretagem	2	3
19	L4	Vigas	V3	Fissuras	4	2
19	L4	Vigas	V4	Cobrimento deficiente	3	2

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
19	L4	Vigas	V4	Corrosão de armaduras	5	2
19	L4	Vigas	V4	Falha de concretagem	2	1
19	L4	Vigas	V4	Fissuras	4	2
19	L4	Vigas	V5	Desplacamento	3	1
19	L4	Vigas	V5	Falha de concretagem	2	1
19	L4	Vigas	V5	Fissuras	4	2
19	L4	Vigas	V6	Cobrimento deficiente	3	2
19	L4	Vigas	V6	Corrosão de armaduras	5	2
19	L4	Vigas	V6	Fissuras	4	2
19	L4	Vigas	V7	Desplacamento	3	2
19	L4	Vigas	V7	Falha de concretagem	2	1
19	L4	Vigas	V7	Fissuras	4	2
19	L4	Vigas	V8	Cobrimento deficiente	3	2
19	L4	Vigas	V8	Corrosão de armaduras	5	2
19	L4	Vigas	V8	Desplacamento	3	3
19	L4	Vigas	V8	Fissuras	4	2
19	L4	Vigas	V8	Manchas	3	2
19	L4	Transversinas	T3	Cobrimento deficiente	3	2
19	L4	Transversinas	T3	Corrosão de armaduras	5	2
19	L4	Transversinas	T3	Falha de concretagem	2	1
19	L4	Transversinas	T4	Cobrimento deficiente	3	2
19	L4	Transversinas	T4	Corrosão de armaduras	5	2
19	L4	Transversinas	T4	Falha de concretagem	2	3
19	L4	Lajes	L8	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L9	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L10	Fissuras	4	1
19	L4	Lajes	L11	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L12	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L12	Manchas	3	2
19	L4	Lajes	L13	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L14	Eflorescência	2	1
19	L4	Lajes	L14	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L14	Manchas	3	2
19	L4	Lajes	L15	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L15	Manchas	3	2
19	L4	Lajes	L19	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L20	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L21	Eflorescência	2	2
19	L4	Lajes	L21	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L21	Manchas	3	2
19	L4	Lajes	L22	Eflorescência	2	2
19	L4	Lajes	L22	Manchas	3	2
19	L4	Lajes	L23	Eflorescência	2	2
19	L4	Lajes	L23	Fissuras	4	2

OAE	Rodovia / Via	Familia	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
19	L4	Lajes	L23	Manchas	3	2
19	L4	Lajes	L24	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L25	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L26	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L27	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L28	Cobrimento deficiente	3	2
19	L4	Lajes	L28	Corrosão de armaduras	5	2
19	L4	Lajes	L28	Desagregação	3	3
19	L4	Lajes	L28	Manchas	3	2
19	L4	Lajes	L29	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L29	Manchas	3	2
19	L4	Lajes	L30	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L30	Manchas	3	2
19	L4	Lajes	L31	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L32	Fissuras	4	1
19	L4	Lajes	L33	Fissuras	4	1
19	L4	Lajes	L34	Fissuras	4	2
19	L4	Lajes	L35	Cobrimento deficiente	3	2
19	L4	Lajes	L35	Corrosão de armaduras	5	2
19	L4	Lajes	L35	Desagregação	3	3
19	L4	Lajes	L35	Eflorescência	2	3
19	L4	Lajes	L35	Manchas	3	2
19	L4	Cortinas e alas	C1	Cobrimento deficiente	3	2
19	L4	Cortinas e alas	C1	Corrosão de armaduras	5	2
19	L4	Cortinas e alas	C1	Falha de concretagem	2	3
20	L4	Pilares	P1	Fissuras	5	2
20	L4	Travessas	TR1	Desplacamento	3	2
20	L4	Travessas	TR1	Falha de concretagem	2	1
20	L4	Vigas	V1	Desplacamento	3	2
20	L4	Vigas	V1	Eflorescência	2	2
20	L4	Vigas	V1	Fissuras	4	2
20	L4	Vigas	V1	Manchas	3	2
20	L4	Vigas	V2	Fissuras	4	3
20	L4	Vigas	V3	Fissuras	4	2
20	L4	Vigas	V4	Fissuras	4	3
20	L4	Vigas	V5	Desplacamento	3	2
20	L4	Vigas	V5	Fissuras	4	3
20	L4	Vigas	V6	Fissuras	4	2
20	L4	Vigas	V7	Desplacamento	3	2
20	L4	Vigas	V7	Fissuras	4	2
20	L4	Vigas	V8	Fissuras	4	2
20	L4	Vigas	V8	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L8	Cobrimento deficiente	3	2
20	L4	Lajes	L8	Corrosão de armaduras	5	2

OAE	Rodovia / Via	Familia	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
20	L4	Lajes	L8	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L8	Falha de concretagem	2	3
20	L4	Lajes	L8	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L9	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L9	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L10	Fissuras	4	3
20	L4	Lajes	L11	Fissuras	4	3
20	L4	Lajes	L12	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L12	Fissuras	4	3
20	L4	Lajes	L12	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L13	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L14	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L14	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L14	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L15	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L15	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L16	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L17	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L17	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L18	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L19	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L19	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L19	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L20	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L20	Fissuras	4	3
20	L4	Lajes	L20	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L21	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L21	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L21	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L22	Cobrimento deficiente	3	2
20	L4	Lajes	L22	Corrosão de armaduras	5	2
20	L4	Lajes	L22	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L22	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L23	Corrosão de armaduras	5	2
20	L4	Lajes	L23	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L23	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L23	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L24	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L26	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L26	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L26	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L27	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L28	Eflorescência	2	4
20	L4	Lajes	L28	Fissuras	4	2

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
20	L4	Lajes	L28	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L29	Cobrimento deficiente	3	2
20	L4	Lajes	L29	Corrosão de armaduras	5	2
20	L4	Lajes	L29	Eflorescência	2	4
20	L4	Lajes	L29	Falha de concretagem	2	3
20	L4	Lajes	L29	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L30	Corrosão de armaduras	5	2
20	L4	Lajes	L30	Eflorescência	2	4
20	L4	Lajes	L30	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L31	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L31	Fissuras	4	3
20	L4	Lajes	L32	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L33	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L34	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L34	Fissuras	4	3
20	L4	Lajes	L35	Cobrimento deficiente	3	2
20	L4	Lajes	L35	Corrosão de armaduras	5	3
20	L4	Lajes	L35	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L35	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L36	Cobrimento deficiente	3	2
20	L4	Lajes	L36	Corrosão de armaduras	5	2
20	L4	Lajes	L36	Eflorescência	2	4
20	L4	Lajes	L36	Falha de concretagem	2	3
20	L4	Lajes	L37	Corrosão de armaduras	5	2
20	L4	Lajes	L37	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L37	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L37	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L38	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L38	Fissuras	4	3
20	L4	Lajes	L39	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L39	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L40	Fissuras	4	3
20	L4	Lajes	L41	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L41	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L42	Corrosão de armaduras	5	2
20	L4	Lajes	L42	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L42	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L42	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L43	Cobrimento deficiente	3	2
20	L4	Lajes	L43	Corrosão de armaduras	5	2
20	L4	Lajes	L43	Eflorescência	2	4
20	L4	Lajes	L43	Falha de concretagem	2	2
20	L4	Lajes	L43	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L44	Eflorescência	2	4

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
20	L4	Lajes	L44	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L44	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L45	Corrosão de armaduras	5	3
20	L4	Lajes	L45	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L45	Fissuras	4	3
20	L4	Lajes	L45	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L46	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L47	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L47	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L47	Manchas	3	2
20	L4	Lajes	L48	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L49	Eflorescência	2	2
20	L4	Lajes	L49	Fissuras	4	2
20	L4	Lajes	L49	Manchas	3	2
21	L4	Pilares	P5	Fissuras	3	2
21	L4	Travessas	TR3	Eflorescência	2	2
21	L4	Travessas	TR3	Falha de concretagem	2	1
21	L4	Travessas	TR3	Manchas	3	2
21	L4	Vigas	V1	Deslocamento	3	2
21	L4	Vigas	V1	Eflorescência	2	2
21	L4	Vigas	V1	Manchas	3	2
21	L4	Vigas	V2	Falha de concretagem	2	1
21	L4	Vigas	V3	Cobrimento deficiente	3	2
21	L4	Vigas	V3	Corrosão de armaduras	5	2
21	L4	Vigas	V3	Deslocamento	3	3
21	L4	Vigas	V3	Falha de concretagem	2	1
21	L4	Vigas	V3	Fissuras	4	2
21	L4	Vigas	V4	Cobrimento deficiente	3	2
21	L4	Vigas	V4	Corrosão de armaduras	5	2
21	L4	Vigas	V4	Fissuras	4	2
21	L4	Vigas	V5	Eflorescência	2	2
21	L4	Vigas	V5	Fissuras	4	3
21	L4	Vigas	V5	Manchas	3	2
21	L4	Vigas	V6	Cobrimento deficiente	3	2
21	L4	Vigas	V6	Corrosão de armaduras	5	2
21	L4	Vigas	V6	Eflorescência	2	2
21	L4	Vigas	V6	Falha de concretagem	2	1
21	L4	Vigas	V6	Manchas	3	2
21	L4	Transversinas	T3	Eflorescência	2	2
21	L4	Transversinas	T3	Falha de concretagem	2	1
21	L4	Transversinas	T4	Cobrimento deficiente	3	2
21	L4	Transversinas	T4	Corrosão de armaduras	5	2
21	L4	Transversinas	T4	Falha de concretagem	2	2
21	L4	Transversinas	T5	Cobrimento deficiente	3	2



OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
21	L4	Transversinas	T5	Corrosão de armaduras	5	2
21	L4	Transversinas	T5	Falha de concretagem	2	1
21	L4	Lajes	L9	Eflorescência	2	2
21	L4	Lajes	L9	Fissuras	4	2
21	L4	Lajes	L9	Manchas	3	2
21	L4	Lajes	L10	Eflorescência	2	2
21	L4	Lajes	L10	Fissuras	4	3
21	L4	Lajes	L10	Manchas	3	2
21	L4	Lajes	L11	Eflorescência	2	2
21	L4	Lajes	L11	Fissuras	4	1
21	L4	Lajes	L14	Eflorescência	2	2
21	L4	Lajes	L14	Fissuras	4	2
21	L4	Lajes	L14	Manchas	3	2
21	L4	Lajes	L15	Eflorescência	2	2
21	L4	Lajes	L15	Fissuras	4	2
21	L4	Lajes	L18	Eflorescência	2	2
21	L4	Lajes	L18	Fissuras	4	3
21	L4	Lajes	L19	Cobrimento deficiente	3	2
21	L4	Lajes	L19	Corrosão de armaduras	5	2
21	L4	Lajes	L19	Desagregação	3	3
21	L4	Lajes	L19	Eflorescência	2	2
21	L4	Lajes	L19	Fissuras	4	2
21	L4	Lajes	L19	Manchas	3	2
21	L4	Lajes	L20	Manchas	3	2
21	L4	Lajes	L24	Cobrimento deficiente	3	2
21	L4	Lajes	L24	Corrosão de armaduras	5	2
21	L4	Lajes	L24	Desagregação	3	3
21	L4	Lajes	L24	Eflorescência	2	2
21	L4	Lajes	L24	Fissuras	4	2
21	L4	Lajes	L24	Manchas	3	2
21	L4	Lajes	L25	Eflorescência	2	2
21	L4	Lajes	L25	Fissuras	4	2
22	L4	Pilares	P5	Desplacamento	3	2
22	L4	Pilares	P5	Falha de concretagem	3	1
22	L4	Pilares	P5	Fissuras	5	2
22	L4	Pilares	P6	Falha de concretagem	3	1
22	L4	Pilares	P6	Fissuras	5	2
22	L4	Pilares	P7	Desplacamento	3	2
22	L4	Pilares	P7	Falha de concretagem	3	1
22	L4	Pilares	P7	Fissuras	5	2
22	L4	Pilares	P9	Falha de concretagem	3	1
22	L4	Pilares	P9	Fissuras	5	2
22	L4	Pilares	P9	Manchas	3	2
22	L4	Pilares	P10	Fissuras	5	2

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
22	L4	Pilares	P11	Falha de concretagem	3	1
22	L4	Pilares	P11	Fissuras	5	2
22	L4	Pilares	P12	Cobrimento deficiente	3	2
22	L4	Pilares	P12	Corrosão de armaduras	5	2
22	L4	Pilares	P12	Falha de concretagem	3	2
22	L4	Vigas	V1	Eflorescência	2	2
22	L4	Vigas	V1	Manchas	3	2
22	L4	Vigas	V2	Eflorescência	2	2
22	L4	Vigas	V2	Falha de concretagem	2	1
22	L4	Vigas	V2	Fissuras	4	2
22	L4	Vigas	V2	Manchas	3	2
22	L4	Vigas	V3	Eflorescência	2	2
22	L4	Vigas	V3	Falha de concretagem	2	1
22	L4	Vigas	V3	Manchas	3	2
22	L4	Vigas	V8	Eflorescência	2	2
22	L4	Vigas	V8	Manchas	3	2
22	L4	Transversinas	T1	Cobrimento deficiente	3	2
22	L4	Transversinas	T1	Corrosão de armaduras	5	2
22	L4	Transversinas	T1	Falha de concretagem	2	1
22	L4	Transversinas	T2	Falha de concretagem	2	1
22	L4	Transversinas	T4	Cobrimento deficiente	3	2
22	L4	Transversinas	T4	Corrosão de armaduras	5	2
22	L4	Transversinas	T4	Falha de concretagem	2	1
22	L4	Lajes	L8	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L8	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L8	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L9	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L9	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L9	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L10	Eflorescência	2	3
22	L4	Lajes	L10	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L12	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L12	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L14	Desagregação	3	2
22	L4	Lajes	L14	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L15	Cobrimento deficiente	3	2
22	L4	Lajes	L15	Corrosão de armaduras	5	2
22	L4	Lajes	L15	Desagregação	3	3
22	L4	Lajes	L15	Eflorescência	2	4
22	L4	Lajes	L15	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L15	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L16	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L16	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L16	Manchas	3	2

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F <sub>p</sub>	F <sub>i</sub>
22	L4	Lajes	L17	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L17	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L18	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L18	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L19	Eflorescência	2	1
22	L4	Lajes	L19	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L19	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L21	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L21	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L22	Desplacamento	3	2
22	L4	Lajes	L22	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L22	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L22	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L23	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L23	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L23	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L27	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L27	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L27	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L28	Corrosão de armaduras	5	2
22	L4	Lajes	L28	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L28	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L28	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L29	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L29	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L29	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L30	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L30	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L30	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L32	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L32	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L32	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L33	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L33	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L33	Manchas	3	2
22	L4	Lajes	L35	Eflorescência	2	2
22	L4	Lajes	L35	Fissuras	4	2
22	L4	Lajes	L35	Manchas	3	2
22	L4	Cortinas e alas	C2	Cobrimto deficiente	3	2
22	L4	Cortinas e alas	C2	Corrosão de armaduras	5	2
22	L4	Cortinas e alas	C2	Falha de concretagem	2	3

## **APÊNDICE B**

Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB  
a obras de arte especiais - OAEs



# **Metodologia GDE/UnB**

## **Classificação de Danos e Avaliação da Deterioração de Estruturas de Concreto**

# **Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**

Colaboradores:

João Carlos Teatini S. Clímaco  
Antônio Alberto Nepomuceno  
Eliane Kraus de Castro  
Benedito Arruda Lopes  
Plínio Boldo  
Regis Pamplonet Fonseca  
Priscilla Euqeres  
João Henrique da Silva Rêgo  
Rogério Calazans Verly

BRASÍLIA, JUNHO DE 2015

## 1 INTRODUÇÃO

A vida útil de uma estrutura de concreto depende fundamentalmente de manutenção, adequada, tendo em vista, em especial, que os eventuais problemas estruturais detectados no início têm seus efeitos minorados, o que pode reduzir substancialmente os custos de reparo. Entretanto, embora crescente o reconhecimento da importância da manutenção estrutural, são ainda insuficientes, mesmo em países desenvolvidos, as disposições normativas específicas para manutenção de estruturas.

Em geral, as normas recentes são prescritivas e se dedicam às disposições de projeto e execução, tendo como requisito a durabilidade, mas sem estabelecer critérios objetivos para a manutenção das estruturas. A recente norma NBR 15.575:2013<sup>1</sup> define requisitos a serem atendidos pelas edificações quanto ao desempenho acústico e térmico, à segurança contra incêndio, à estanqueidade, à segurança estrutural, à durabilidade e manutenibilidade, dentre outros. Especificamente quanto à manutenibilidade, a referida norma recomenda que a manutenção seja feita com base no *manual de operação, uso e manutenção*, que deve ser fornecido pelo incorporador ou construtor. Essa norma é uma iniciativa que facilitará demasiadamente a manutenção e a garantia do cumprimento da vida útil prevista para uma estrutura.

As demais estruturas, como as Obas de Arte Especiais - OAEs, barragens, galerias e outras não contempladas pela NBR 12.575:2013 devem seguir as diretrizes para a durabilidade definidos pela NBR 6118:2014 e os requisitos para o concreto definidos na NBR 12.655:2006. Neste trabalho, são tomadas como base nas prescrições da NBR 6118:2014, a primeira norma brasileira a estabelecer critérios explícitos sobre durabilidade na etapa de projeto, e nas prescrições aplicáveis da NBR 12.655:2006.

Com o objetivo de avaliar estruturas de concreto, foi desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB) uma metodologia para classificação de danos e avaliação da deterioração de estruturas de concreto armado de edificações usuais, que estabelece critérios para a classificação de danos que permitem calcular o grau de deterioração dos elementos estruturais isolados e da estrutura como um todo, indicando as ações necessárias ao desenvolvimento da vida útil prevista (BOLDO, 2002).

A metodologia, denominada GDE/UnB, prevê a realização de inspeções periódicas por engenheiros e técnicos com experiência na área, objetivando avaliar os elementos estruturais nos mais variados aspectos - segurança, funcionalidade e estética, e já foi testada com bons resultados em edifícios com diversas concepções estruturais e destinações de uso. Mostrou-se também eficiente em um estudo que visava sua integração ao sistema de manutenção utilizado pelo Banco do Brasil às suas edificações em todo o território nacional (LOPES, 1998). Isto conduziu, ainda, a uma extensão da pesquisa objetivando a avaliação estrutural de edificações gerenciadas pela Diretoria de Obras Militares do Exército Brasileiro, em todo país (BOLDO, 2002). Ainda no âmbito do PECC, Fonseca (2007) aplicou a metodologia no Instituto Central de Ciências - ICC, localizado no campus da Universidade de Brasília - UnB.

Além das aplicações na avaliação de estruturas de edificações, a metodologia se mostrou aplicável a estruturas de Obras de Arte Especiais - OAEs. Euqeres (2011) aplicou a metodologia em onze pontes com comprimentos variando de 20m a 150m, todas localizadas no

<sup>1</sup> NBR 15.575:2013 - Edificações habitacionais - Desempenho

estado de Goiás.

Além das famílias e fatores propostos por Euqeres (2011), este manual inclui a alteração feita na equação de cálculo do *grau de deterioração da estrutura*, estudada nesta pesquisa.

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

## 2 PARÂMETROS DE INSPEÇÃO

### 2.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

#### 2.1.1 Agressividade do ambiente

A NBR 6118:2014 apresenta prescrições genéricas sobre a durabilidade de estruturas de concreto, em função da agressividade do meio ambiente, relacionada às ações físicas e químicas previstas, independentemente da atuação de ações mecânicas, variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento. A Tabela 2.1, a seguir, apresenta uma classificação da agressividade do ambiente, extraída da Tabela 6.1, NBR 6118:2014, a ser considerada nos projetos de estruturas correntes:

Tabela 2.1 - Classes de agressividade ambiental (Adaptado de NBR 6118:2014)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Média	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup> Industrial <sup>a, b</sup>	Grande
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup> Respingos de maré	Elevado

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe 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).

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

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

A avaliação da agressividade que um ambiente impõe a uma determinada estrutura depende não só de sua localização geográfica e destinação principal, como são os casos de ambientes rurais ou urbanos, mas também do tipo de agentes agressivos que atuam sobre a estrutura. A Tabela 2.1

ressalta diferenças importantes entre os ambientes industriais das Classe III e IV, levando em consideração que há diferentes tipos de indústrias e por isso diferentes intensidades de agressividade. Edificações onde funcionam indústrias de laticínios, refrigerantes ou de fertilizantes, mesmo podendo estar localizadas em uma área rural, são ambientes quimicamente agressivos e por isso o projetista responsável pelo seu projeto deve avaliar a possibilidade de considerar a Classe IV.

Para complementar o entendimento das diversas possibilidades de deterioração a que as estruturas de concreto armado e protendido estão sujeitas, a NBR 6118:2014 reserva um tópico aos mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto. Esses mecanismos podem ser divididos em três grupos, conforme a Figura 1.

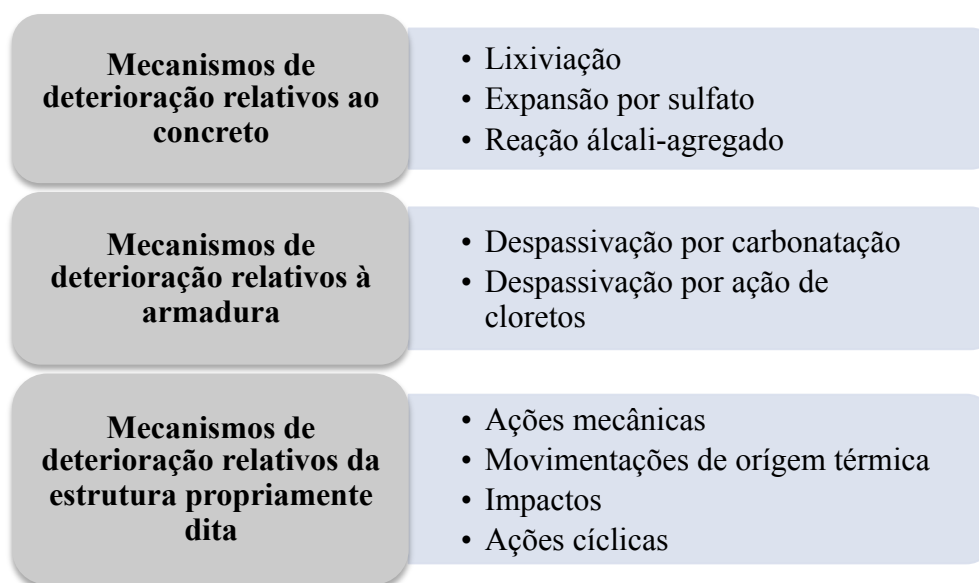


Figura 1 - Mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto  
(Adaptado de NBR 6118:2014)

O primeiro grupo trata dos ataques diretos ao concreto, causando o carreamento de materiais solúveis, como o hidróxido de cálcio -  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , deixando a estrutura do concreto mais porosa e acessível a agentes agressivos. Além do carreamento de seus materiais constituintes, o concreto está sujeito a reações que dão origem a produtos expansivos, que geram tensões internas que podem comprometer a integridade do concreto.

Da mesma forma que o concreto, o aço também está sujeito a deterioração, e o principal mecanismo é a sua corrosão. O aço em meio alcalino (pH em torno de 12,5) não apresenta as condições necessárias para o início do processo corrosivo, e nesse caso pode-se dizer que a armadura está passivada. A carbonatação do concreto e a ação de cloretos faz com que a armadura se despassive, permitindo então que o processo corrosivo se instale. Além dos fenômenos citados até agora, a estrutura ainda está sujeita a ações mecânicas, impactos, dentre outras, que causam danos que podem comprometer a vida útil da estrutura.

Um importante complemento normativo nacional às prescrições da NBR 6118:2014, é a NBR 12.655:2006, que ratifica as classes de agressividade ambiental apresentadas naquela norma, e traz requisitos específicos para os concretos em condições especiais de exposição, como a necessidade de baixa impermeabilidade a água, exposição a processos de congelamento e descongelamento ou a agentes químicos de degelo. Dependendo da condição de exposição são



prescritos valores máximos para a relação água/cimento e valores mínimos para a resistência característica do concreto ( $f_{ck}$ ).

No que se refere ao ataque do concreto por sulfatos, a NBR 12.655:2006 classifica a condição de exposição de acordo com a quantidade de sulfato solúvel ( $SO_4$ ) em água no solo ou presente na água, conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Requisitos para concreto exposto a solução com sulfatos (Adaptado de NBR 12.655:2014)

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água ( $SO_4$ ) presente no solo (% em massa)	Sulfato solúvel ( $SO_4$ ) presente a água (ppm)	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal*	Mínimo $f_{ck}$ (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	--	--
Moderada**	0,10 a 0,20	150 a 1.500	0,50	35
Severa***	Acima de 0,20	Acima de 1.500	0,45	40

\* Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

\*\* Água do mar.

\*\*\* Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

Os sulfatos não oferecem riscos diretos à armadura, uma vez que atuam no concreto reagindo com os aluminatos presentes. Por outro lado, os cloretos atuam diretamente sobre as armaduras de reforço do concreto. Nesse sentido, a NBR 12.655:2014 define o valor máximo da concentração de cloretos no concreto endurecido, considerando a contribuição de todos os componentes do concreto no aporte de cloretos, conforme a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto

Tipo de estrutura	Teor máximo de íons cloreto ( $Cl^-$ ) no concreto (% sobre a massa de cimento)
Concreto protendido	0,05
Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40
Outros tipos de construção em concreto armado	0,30

Apesar de serem requisitos específicos para o concreto e para o aço, as ações do ambiente sobre uma estrutura sempre apresentam efeitos colaterais. Um exemplo é a ação dos íons cloreto, que apesar de não afeta diretamente a microestrutura do concreto, pode criar as condições para o início do processo corrosivo. Os produtos de corrosão possuem volume muito maior que o do aço, provocando tensões internas. Se o concreto não resistir a esses esforços, fissuras serão

abertas abrindo ainda mais caminhos para o acesso de agentes agressivos. Por outro lado, os sulfatos não atuam diretamente sobre as armaduras, mas se houver condições propícias, provocará reações expansivas fazendo com que o concreto se fissure, abrindo caminho para o CO<sub>2</sub> ou íons cloreto que despassivação as armaduras dando início ao processo corrosivo.

### 2.1.2 Identificação dos elementos estruturais

A aplicação da Metodologia GDE/UnB exige uma representação gráfica consistente da estrutura (plantas de fôrmas, cortes, croquis, etc.), que permita localizar e identificar, de maneira precisa, os elementos vistoriados, quanto à natureza, localização na estrutura, dimensões, tipos de ambiente, etc. É, também, essencial uma documentação fotográfica adequada da estrutura e das etapas da inspeção, que pode contribuir substancialmente para o processo de avaliação de danos e para a elaboração de diagnósticos e laudos técnicos.

Além do levantamento de toda a documentação disponível sobre a estrutura, na etapa de planejamento devem ser avaliadas as condições de acesso aos elementos estruturais. A depender da localização da estrutura, equipamentos especiais podem ser necessários. No caso de pontes extensas sobre rios muito largos, são necessários barcos para o acesso a toda a extensão da face inferior do tabuleiro. Em inspeções mais detalhadas de viadutos ou pontes muito altas, pode ser necessário o uso de cordas e técnicas de alpinismo para o acesso pormenorizado a toda a estrutura.

## 2.2 Conceituação dos tipos frequentes de danos em estruturas de concreto

Apresenta-se, a seguir, uma listagem dos danos mais frequentes em estruturas de concreto, em ordem alfabética, com uma conceituação concisa e sem se pretender esgotar os temas abordados. O objetivo é buscar maior uniformidade nas inspeções e padronizar a terminologia utilizada, de modo a permitir, posteriormente, a obtenção de resultados mais consistentes e menor subjetividade na quantificação dos danos com o uso da formulação da Metodologia GDE/UnB. É indispensável destacar a importância da consulta a bibliografias complementares, algumas referenciadas neste texto.

### a) Carbonatação:

Fenômeno decorrente da penetração na rede de poros do concreto do dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, presente no ar, e de sua reação com os constituintes alcalinos da pasta de cimento, principalmente o hidróxido de cálcio. A carbonatação da cal reduz o pH do concreto e provoca a despassivação das armaduras, ou seja, a redução da sua capacidade de proteção do aço contra a corrosão. A carbonatação pode ser detectada por meio de um ensaio simples, com a aplicação na superfície do concreto de uma solução de fenolftaleína com indicador. A parte carbonatada do concreto deve ficar incolor ( $pH < 8,5$ ) e a não carbonatada adquire a cor vermelho-carmim.

### b) Cobrimento deficiente:

A NBR 6118:2014 recomenda que o projeto e a execução dos elementos constitutivos das estruturas de concreto devem respeitar os valores prescritos para o cobrimento nominal ( $c_{nom}$ ) da camada de concreto sobre as armaduras de aço, definido como o cobrimento mínimo acrescido de uma tolerância de execução ( $\Delta c$ ). Quando houver um controle de qualidade rigoroso, pode ser adotado um valor  $\Delta c = 5mm$ . Em caso contrário, nas obras correntes, deve ser, no mínimo,  $\Delta c = 10mm$ , resultando nos cobrimentos nominais indicados na Tabela 2.4.

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

$$c_{nom} \geq \Phi_{barra} \quad (\text{Expressão 1.1})$$

$$c_{nom} \geq \Phi_{feixe} = \Phi_n = \Phi \sqrt{n}$$

$$c_{nom} \geq 0,5 \Phi_{bainha}$$

Tabela 2.4 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para  $\Delta c = 10 \text{ mm}$  (Adaptado de NBR 6118:2014)

$c_{nom}$ (mm)	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV <sup>3)</sup>
Concreto armado	Laje <sup>2)</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	55
Concreto protendido <sup>1)</sup>	Todos	30	35	45	55

<sup>1)</sup> 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.

<sup>2)</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, 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 pelo exposto abaixo da tabela, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15\text{mm}$ .

<sup>3)</sup> As 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 devem ter cobrimento nominal  $\geq 45\text{mm}$ .

### c) **Contaminação por cloretos:**

Contaminação do concreto causada pelo emprego na execução do concreto de aditivos à base de cloretos, com teor excessivo, ou pela penetração de cloretos presentes no meio ambiente, como no caso de regiões à beira-mar. É um dano comum em peças pré-moldadas, quando se pretende acelerar a cura com aditivos à base de cloretos. As manifestações mais comuns são as fissuras, locais ou generalizadas, sobre as armaduras e a presença de manchas no concreto pela retenção de umidade, frequentemente com a criação de fungos. Os cloretos podem ser também incorporados ao concreto pelo uso de água da rede pública no amassamento ou introduzidos nas operações de limpeza de pisos e fachadas, com a utilização de soluções de *HCl* em baixas concentrações (ácido muriático) (Nepomuceno, 1999).

### 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 original das armaduras, sujeitando o concreto a elevadas tensões de tração (da ordem de até *15 MPa*). Essas tensões ocasionam a fissuração do concreto e o posterior lascamento da camada de cobrimento do concreto (Cánovas, 1988). No seu início, a corrosão se manifesta na superfície do elemento estrutural com o aparecimento de manchas marrom-avermelhadas ou

esverdeadas, em razão da lixiviação do concreto (dissolução e arraste do hidróxido de cálcio da massa endurecida) dos produtos de corrosão, evoluindo com o tempo e podendo chegar até à perda total da seção da armadura.

e) **Desagregação do concreto:**

Fenômeno característico de ataques químicos do concreto, em formas diversas - lixiviação, reação álcali-agregado, reações expansivas com sulfatos, com a separação física de placas ou fatias de concreto, comprometendo o monolitismo do elemento. Na maioria das vezes, causa a perda da resistência de engrenamento entre os agregados (*aggregate interlock*) e da capacidade aglomerante da pasta (Sousa, 1999). Pode ocorrer, também, por ações biológicas (raízes e micro-organismos) ou, ainda, por dosagem incorreta e execução deficiente do concreto, perante as ações dos agentes agressivos (abrasão, vento, chuva, etc.).

f) **Deslocamento por empuxo:**

Deslocamento proveniente da pressão ativa exercida por um maciço não-coesivo sobre um anteparo vertical. Nos muros, cortinas ou paredes de contenção de concreto é causado pelo empuxo de terra ou água. Esses elementos devem ser providos de drenos, para evitar o acúmulo de água no terrapleno que suporta e que resultaria em acréscimo do empuxo hidrostático. Os deslocamentos causados pela saturação do maciço podem, ainda, ser agravados pela passagem de veículos.

g) **Desvios de geometria:**

Perda da verticalidade e do alinhamento de elementos estruturais em relação ao seu eixo, produzindo excentricidade adicional das forças atuantes. Pode ter como causas: deficiências na execução por movimentação ou incorreção de fôrmas e escoamentos ou por movimentação da estrutura, pela ação de esforços imprevistos ou não considerados corretamente no projeto.

h) **Eflorescência em superfícies de concreto:**

Precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície do concreto, quando os produtos da lixiviação interagem com o  $CO_2$  presente no ar. Essa precipitação resulta da ação de águas puras e brandas no concreto, causando a hidrólise da pasta de cimento e dissolução dos produtos de cálcio. Teoricamente, a hidrólise da pasta continua até que a maior parte do hidróxido de cálcio tenha sido retirada por lixiviação, expondo os outros constituintes cimentícios à decomposição química. O processo produz géis de sílica e alumina, com pouca ou nenhuma resistência, e conseqüente perda significativa da resistência da pasta de cimento pela lixiviação da cal (Mehta, 1994). O fenômeno causa aumento da porosidade do concreto, sendo considerado similar à osteoporose do osso humano e podendo levar, em um espaço de tempo relativamente curto, à ruína do elemento estrutural (Souza, 1999). O pesquisador russo Skrylnikov (1933) chamava, figuradamente, esta forma de deterioração de “a morte branca do concreto” (apud Moskvina, 1980).

i) **Falhas de concretagem (nichos ou ninhos de concreto):**

Deficiência na concretagem da peça, com a ocorrência de vazios e exposição de agregados, por um ou mais dos fatores: dosagem inadequada do concreto, 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. Pode haver situações em que não somente os agregados

ficam expostos, mas haja exposição de barras das armaduras dos elementos estruturais, propiciando o início de processo corrosivo.

**j) Fissuração inaceitável:**

A fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à variabilidade do concreto e à sua baixa resistência aos esforços de tração. No entanto a abertura das fissuras deve ser controlada de modo a se garantir a proteção das armaduras à corrosão e também promover a aceitabilidade sensorial dos usuários.

A NBR 6118: 2014 prescreve que a fissuração em elementos de concreto é nociva quando a abertura das fissuras na superfície ultrapassa os seguintes valores:

- Armaduras passivas: desde que a abertura característica das fissuras ( $w_k$ ) fique entre 0,2mm e 0,4mm para as combinações frequentes, não representam apresentam importância significativa para a corrosão das armaduras;
- Armaduras ativas: há a possibilidade de corrosão sob tensão, portanto esses limites devem ser avaliados com base na Classe de Agressividade Ambiental - CAA (Tabela 2.1). Em resumo, pode-se dizer que não são aceitas fissuras para a protensão limitada e completa. No caso da protensão parcial, são aceitas fissuras menores que 0,2mm apenas para a CAA I;
- Aceitabilidade sensorial: mesmo que as fissuras estejam abaixo dos limites indicados na NBR 6118:2014, elas não devem causar desconforto psicológico aos usuários, o que geralmente ocorre com fissuras ativas.

**k) Flechas excessivas:**

A NBR 6118: 2014 prescreve limites para os deslocamentos das peças de estruturas de concreto, fazendo distinção entre a “aceitabilidade sensorial”, para prevenir a ocorrência sensações desagradáveis aos usuários, efeitos específicos referentes à utilização da estrutura, efeitos nos elementos não estruturais e efeitos nos elementos estruturais (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Limites para deslocamentos em estruturas de concreto armado e protendido (NBR 6118:2014)

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplos	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	L/200
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	L/350
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	L/250
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação à 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-os ao modelo estrutural adotado.		

Foram transcritos na Tabela 2.5 apenas alguns valores aplicáveis às estruturas de Obras de Arte Especiais - AOE, sendo deixados fora aqueles referentes aos efeitos em elementos não estruturais, como paredes, forros e pontes rolantes.

**l) Manchas:**

Ocorrência de manchas escuras em superfícies de concreto, causadas pela contaminação por fungos, mofo, etc., principalmente nas partes expostas da estrutura. Nessa categoria de danos, não devem ser consideradas outras manchas como as relacionadas à corrosão e eflorescências.

**m) Obstrução de juntas de dilatação:**

A junta de dilatação é uma separação física entre partes de uma estrutura, para que possam ocorrer movimentos sem a transmissão de forças e deslocamentos entre os elementos separados pela junta. A presença de material rígido ou o material de preenchimento da junta que tenha perdido a sua elasticidade produz tensões indesejáveis na estrutura, podendo ocasionar fissuras em elementos estruturais adjacentes à junta. Os sistemas de vedação e enchimento das juntas devem acomodar a amplitude dos seus movimentos.

**n) Recalque de fundações:**

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 por assentamentos diferenciais (recalques diferenciais e distorções angulares).

Os recalques distorcionais das fundações não são admissíveis estruturalmente, ocorrendo por deformações excessivas, e podem ser causados por um ou mais dos seguintes fatores: estimativa incorreta de cargas no cálculo estrutural; avaliação errônea dos esforços provenientes da estrutura sobre as fundações; modelos inconvenientes de cálculo das fundações; ausência, insuficiência ou má qualidade das investigações geotécnicas; má interpretação dos resultados da investigação geotécnica; adoção inadequada da tensão admissível do solo ou da cota de apoio das fundações; 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 (alargamentos das OAEs), efeito piscina (entupimento de drenos), sobrecargas não previstas; cargas dinâmicas (vibrações, tremores de terra, etc.) e, por fim, falhas de manutenção em obras críticas.

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

Processo de desintegração do concreto, podendo ser causado por erros de cálculo, sobrecargas excessivas, redistribuição de esforços ou movimentação da estrutura. No caso de pilares, caracteriza-se pelo aparecimento de fissuras diagonais e/ou verticais, podendo evoluir para um intenso lascamento do concreto, com perda de seção e flambagem das armaduras. Há também o caso de falhas nos aparelhos de apoio, que deveriam transmitir os esforços entre dois elementos estruturais, liberando alguns movimentos e suas respectivas reações. Nesse último caso ocorre o contato direto entre os dois elementos, causando concentração de tensões e posterior esmagamento do concreto.

**p) Umidade excessiva na infra-estrutura:**

A umidade excessiva na base de pilares e/ou em blocos de fundação, pela seu potencial agravamento com o favorecimento de recalques, é considerada um dano específico. Pode ser proveniente de deficiência no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações da própria edificação ou adjacentes, vazamento em reservatórios enterrados, etc.

### **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 sequencial 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).

O Anexo 2 deste roteiro apresenta as tabelas A.2, a serem preenchidas mediante inspeções da estrutura por técnicos treinados. Como complemento da inspeção da estrutura, e com o objetivo de confrontar os resultados 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 do Anexo 2 deste texto apresenta uma classificação dos 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 3 deste roteiro, 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. A formulação original e os procedimentos para o cálculo dos graus de deterioração dos elementos, das famílias de elementos e da estrutura (global) são apresentados no artigo de Castro, Clímaco e Nepomuceno (1995). Essa formulação foi posteriormente aperfeiçoada nos trabalhos de Lopes (1998) e Boldo (2002), com base em dezenas de aplicações da metodologia.

No Anexo 1, são apresentadas as fórmulas para o cálculo do Grau do Dano ( $D$ ), Grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ), Grau de deterioração de uma família de elementos ( $G_{df}$ ) e Grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ).

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





## REFERÊNCIAS DO APÊNDICE

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**, Rio de Janeiro, 2014, 238p.
- BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 295p.
- BOLDO, P., CLÍMACO, J. C. T. S. Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro, In: XXX Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, Brasília, DF, 2002.
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.
- CAPUTO, H.P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**, v. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro, 1981.
- CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994. 185 p.
- CASTRO, E. K., CLÍMACO, J. C. T. S., NEPOMUCENO, A. A. (1995) - Desenvolvimento de uma metodologia de manutenção de estruturas de concreto armado", 37º. Congresso Brasileiro do Concreto, Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon, **Anais**, v.1, pp. 293-307, Goiânia.
- CASTRO, E. K., CLÍMACO, J. C. T. S. - Avaliação da estrutura de uma edificação residencial após o reparo de elementos danificados. In: 41º Congresso Brasileiro do Concreto, Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon, **Anais**, Salvador, 1999.
- CLÍMACO, J. C. T. S, NEPOMUCENO, A. A. **Patologia, recuperação e manutenção de estruturas**, Notas de Aula, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, 1999.
- FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. 213 p.
- LOPES, B. A. R. **Sistema de manutenção predial para grandes estoques de edifícios: Estudo para inclusão do componente "Estrutura de Concreto"**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998. 308 p.
- LOPES, B. A. R.; CLÍMACO; J. C. T. S., NEPOMUCENO; A. A., CASTRO; E. K. Sistema de manutenção para grandes estoques de edifícios. In: CONPAT 99, **Anais**, v. 3, p. 1897-1905, Montevideu, Uruguai, 1999.



MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MOSKVIN, V.; IVANOV, F.; ALEKSEYEV, S.; GUZEYEV, E. *Concrete and Reinforced Concrete Deterioration and Protection*, Mir Publishers, Moscow, Russia, 1983.

SOUZA, V. C. RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1999. 257 p.

VARGAS, M. Introdução à Mecânica dos Solos”, Editora McGraw-Hill, São Paulo, 1981.



## **ANEXO 1**

Formulação para avaliação quantitativa da deterioração de estruturas de concreto e ações recomendadas segundo os níveis de deterioração

**Grau de um 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<sub>de</sub> )**

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

**Tabela 1 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento e ações recomendadas**

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

**Grau de deterioração de uma família de elementos ( G<sub>df</sub> )**

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

**Fatores de relevância estrutural das famílias de elementos ( $F_r$ )**

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

**Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ )**

$$G_d = \frac{K_{m\acute{a}x}}{7,07} \sqrt{1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^k K_i\right) - K_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^k K_i}}$$

**Tabela 2 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura e ações recomendadas**

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



## **ANEXO 2**

### **Tabelas de classificação dos fatores de intensidade e de ponderação dos danos**

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

Tipos de danos	Valores de $F_i$
Carbonatação	<p>1 → localizada, com regiões com <math>\text{pH} &lt; 9</math>, sem afetar as armaduras.</p> <p>2 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco.</p> <p>3 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.</p> <p>4 → generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.</p>
Cobrimento deficiente	<p>1 → menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura.</p> <p>2 → menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões.</p> <p>3 → deficiente, com armaduras expostas em extensões significativas.</p>
Contaminação por cloretos	<p>2 → elementos abrigados sem umidade</p> <p>3 → elementos no exterior sem umidade</p> <p>4 → ambientes úmidos.</p>
Corrosão de armaduras	<p>2 → manifestações leves, pequenas manchas.</p> <p>3 → grandes manchas e/ou fissuras de corrosão.</p> <p>4 → corrosão acentuada da armadura principal, com perda relevante de seção (<math>&gt; 20\%</math> do diâmetro).</p>
Desagregação	<p>2 → início de manifestação.</p> <p>3 → manifestações leves, início de estofamento do concreto.</p> <p>4 → por perda acentuada de seção e esfarelamento do concreto.</p>
Deslocamento por empuxo	<p>3 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável.</p> <p>4 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável.</p>
Desplacamento	<p>2 → pequenas escamações do concreto.</p> <p>3 → lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura.</p> <p>4 → lascamento acentuado com perda relevante de seção.</p>
Desvios de Geometria	<p>2 → pilares e cortinas com excentricidade <math>e \leq h/100</math> (<math>h = \text{altura}</math>).</p> <p>3 → pilares e cortinas com excentricidade <math>h/100 \leq e &lt; h/50</math>.</p> <p>4 → pilares e cortinas com excentricidade <math>e \geq h/50</math>.</p>
Eflorescência	<p>1 → início de manifestações.</p> <p>2 → manchas de pequenas dimensões.</p> <p>3 → manchas acentuadas, em grandes extensões.</p> <p>4 → grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).</p>
Falha de concretagem	<p>1 → superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça.</p> <p>2 → significativa em relação às dimensões da peça.</p> <p>3 → significativa em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura.</p> <p>4 → perda relevante da seção transversal da peça (<math>&gt; 20\%</math> da área).</p>
Fissuras	<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>

Tabela A.2: Classificação dos danos e fatores de intensidade ( $F_i$ )

Tipos de danos	Valores do Fator de Intensidade do Dano
Flechas	<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>
Impermeabilização deficiente	<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>
Infiltração de água	<p>1 → indícios de umidade.</p> <p>2 → pequenas manchas.</p> <p>3 → grandes manchas.</p> <p>4 → generalizada.</p>
Manchas	<p>2 → manchas escuras de pouca extensão, mas significativas (&lt; 50% da área visível do elemento estrutural).</p> <p>3 → manchas escuras de grande extensão (&gt;50%).</p> <p>4 → manchas escuras em todo o elemento estrutural (100%).</p>
Obstrução de juntas de dilatação	<p>2 → perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes.</p> <p>3 → presença de material não compressível na junta; incidência significativa de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes.</p> <p>4 → fissuras em lajes e paredes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.</p>
Recalques	<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>
Sinais de esmagamento do concreto	<p>3 → desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas.</p> <p>4 → fissuras bi-diagonais, com lascamento e/ou esmagamento do concreto por cisalhamento-compressão, com perda substancial de material; exposição e início de flambagem de armaduras.</p>



**Tabela B.1: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação ( $F_p$ )****PILARES**

Nome do Elemento →				
Local →				
Danos	$F_p$	$F_i$	$D$	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Desvio de geometria	4			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	3			
Fissuras	2 a 5*			
Manchas	3			
Recalque	5			
Sinais de esmagamento	5			
Umidade excessiva na infraestrutura	4			

\* Consultar Tabelas C

**VIGAS E TRANSVERSINAS**

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

\* Consultar Tabelas C

Tabela B.2: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação ( $F_p$ )**LAJES**

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	$F_p$	$F_i$	$D$	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	3			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Falhas de concretagem	2			
Fissuras	2 a 5*			
Flechas	5			
Infiltração de água	3			
Manchas	3			

\* Consultar Tabelas C

**GUARDA-CORPOS, BARREIRAS, GUARDA-RODAS**

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

\* Consultar Tabelas C

Tabela B.3: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação ( $F_p$ )**CORTINAS, ALAS**

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

\* Consultar Tabelas C

**BLOCOS DE FUNDAÇÃO**

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

\* Consultar Tabelas C

**Tabela B.4: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação ( $F_p$ )****JUNTAS DE DILATAÇÃO**

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	$F_p$	$F_i$	$D$	Croquis/Observações
Obstrução de junta	5			
Desgaste do material de preenchimento da junta	5			
Umidade	5			

**PISTA DE ROLAMENTO**

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	$F_p$	$F_i$	$D$	Croquis/Observações
Descontinuidade	5			
Desgaste superficial	5			
Desgaste da sinalização	5			

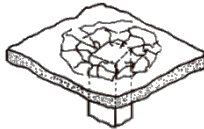
**Tabela C.1: Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados ( $F_p$ )**

	Fissuras*	Descrição	Croquis	$F_p$
ESTADO PLÁSTICO	De retração plástica do concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- comuns em lajes e paredes.</li> <li>- aproximadamente paralelas, superficiais e afastadas entre si de 0,3 a 1 m.</li> </ul>		2
	De assentamento do concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sobre as armaduras.</li> <li>- em pilares, ficam abaixo dos estribos.</li> <li>- interação com armaduras vizinhas.</li> </ul>		3
	De movimentação de fôrmas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- indicam posicionamento e/ou fixação incorretos ou resistência insuficiente de fôrmas/escoramentos</li> </ul>		3
ESTADO ENDURECIDO	De retração do concreto por secagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fissuras em pilares e/ou vigas, por diferença grande de rigidezes (a).</li> <li>- aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces (b).</li> <li>- indicam restrição de movimentos.</li> <li>- profundidade reduzida.</li> <li>- aberturas &lt; 0,1 a 0,2 mm.</li> </ul>	<p>(a)</p> <p>(b)</p>	3
	Mapeadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes.</li> <li>- abertura e extensão reduzidas.</li> <li>- superfícies de concreto com desempenho excessivo.</li> <li>- danos só estéticos, em geral</li> </ul>		2
	De variações de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- em geral, normais ao eixo de elementos lineares,</li> <li>- indicam restrição de movimento por mau funcionamento de juntas de dilatação ou sua ausência.</li> </ul>	<p>Fissuras</p> <p>Quente/Frio</p> <p>Fissura</p>	3

**Tabela C.2: Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados ( $F_p$ )**

	<b>Fissuras*</b>	<b>Descrição</b>	<b>Croquis</b>	<b><math>F_p</math></b>
<b>ERROS DE PROJETO/ EXECUÇÃO OU CARGAS EXCESSIVAS</b>	<b>De flexão</b>	- normais ao eixo, em trechos de momento fletor elevado e com boa aderência aço-concreto.		4
	<b>De força cortante e flexão</b>	- mesma inclinação nas duas faces. - podem entrar na zona de compressão e se dirigir aos apoios.		4
	<b>De flexão, cortante e torção</b>	- inclinações diferentes nas faces laterais, com menor abertura da fissura em uma das faces.		4
	<b>De flexo-tração em pilares</b>	- normais ao eixo do pilar na face tracionada e paralelas na face comprimida: podem indicar esmagamento do concreto. - mais próximas de extremidades com maior momento.		5
	<b>De compressão</b>	- paralelas ao eixo ou bi-digonais no centro iminência de ruptura. - indicam espaçamento excessivo ou deslocamento de estribos.		5
	<b>De carga concentrada em área reduzida</b>	- em apoios de pontes, estruturas pré-moldadas e apoios indiretos - indicam armadura deficiente de fretagem e mau detalhamento		3
	<b>Em apoios do tipo Gerber (vigas e pilares)</b>	- comuns em pontes e estruturas pré-moldadas. - indicam deficiência ao movimento em aparelhos de apoio e/ou detalhamento inadequado.		3
	<b>De flexão em lajes</b>	- na face inferior, saindo dos cantos e paralelas a bordos com continuidade ou vãos maiores. - na face superior, paralelas a bordos com continuidade.		4
<b>De momentos volventes</b>	- em cantos de lajes extremas, podendo surgir nas duas faces. - influenciadas por variações de temperatura e retração.		3	



	<b>Fissuras*</b>	<b>Descrição</b>	<b>Croquis</b>	<b><math>F_p</math></b>
	<b>De punção</b>	- traçado circunferencial e/ou radial em torno do pilar.		5



## **ANEXO 3**

Fotos ilustrativas de danos em estruturas de concreto e fatores de intensidade sugeridos



## FATORES DE INTENSIDADE ( $F_i$ ) SUGERIDOS



Figura 1: corrosão de armadura ( $F_i = 2$ )



Figura 2: corrosão de armadura ( $F_i = 3$ )



Figura 3: corrosão de armadura ( $F_i = 4$ )



Figura 4: desagregação ( $F_i = 2$ )



Figura 5: deslocamento ( $F_i = 2$ )



Figura 6: deslocamento ( $F_i = 3$ )



Figura 7: deslocamento ( $F_i = 4$ )



Figura 8: eflorescência ( $F_i = 2$ )



Figura 9: eflorescência ( $F_i = 3$ )



Figura 10: eflorescência ( $F_i = 4$ )



Figura 11: falha de concretagem ( $F_i = 1$ )



Figura 12: falha de concretagem ( $F_i = 2$ )



Figura 13: falha de concretagem ( $F_i = 3$ )



Figura 14: falha de concretagem ( $F_i = 3$ )



Figura 15: falha de concretagem ( $F_i = 4$ )



Figura 16: manchas ( $F_i = 2$ )



Figura 17: manchas ( $F_i = 3$ )



Figura 18: manchas ( $F_i = 4$ )



Figura 19: sinais de esmagamento do concreto ( $F_i = 3$ )



Figura 20: sinais de esmagamento do concreto ( $F_i = 4$ )



Figura 21: flecha ( $F_i = 4$ )



Figura 22: recalque ( $F_i = 4$ )



## **ANEXO 4**

# **Sugestão para ficha descritiva da Obra de Arte Especial**

**FICHA DESCRITIVA DA OBRA DE ARTE ESPECIAL**

<b>Dados básicos</b>			
Nome da OAE:		Data da inspeção: ___/___/___	
Cidade mais próxima:		UF: _____	
Coordenadas GPS:	Altitude (m):	Latitude (S) (°)	Longitude (W) (°)
Localização (km):			
Natureza da transposição: <input type="checkbox"/> Ponte <input type="checkbox"/> Viaduto sobre rodovia <input type="checkbox"/> Viaduto sobre ferrovia <input type="checkbox"/> Passagem Inferior			
Sistema construtivo: <input type="checkbox"/> Moldado no local <input type="checkbox"/> Pré-moldado <input type="checkbox"/> Balanços sucessivos <input type="checkbox"/> Outro _____			
Comprimento (m):		Largura (m):	
Classe de Agressividade Ambiental (NBR 6118:2014): <input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV			
Projetista:			
Construtor:			
Ano da construção:			
Características da região: <input type="checkbox"/> Plana <input type="checkbox"/> Ondulada <input type="checkbox"/> Montanhosa			
Traçado: <input type="checkbox"/> Tangente <input type="checkbox"/> Curvo			
Características dos vãos:			
Número de vãos: _____	Descrição dos vãos:		
Responsável pela inspeção:			
Nome:			
Formação:			
Empresa:			