

ANA CAROLINA VIRMOND PORTELA GIOVANNETTI

**AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE PONTES -  
ESTUDO DE CASO**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, para obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Caldas de Andrade Pinto.

Florianópolis  
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Giovanetti, Ana Carolina V. P.

AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE PONTES – ESTUDO DE CASO / Ana Carolina V. P. Giovanetti; orientador, Roberto Caldas de A. Pinto - Florianópolis, SC, 2014. 130 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Obras de Arte Especiais. 3. Inspeção. 4. Avaliação. 5. Manifestações Patológicas. 6. Pontes. I. Pinto, Roberto Caldas de A.. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Ana Carolina Virmond Portela Giovannetti

## **AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DE CONSERVAÇÃO DE UMA PONTE - ESTUDO DE CASO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Florianópolis, 15 de abril de 2014.

---

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Ph.D.  
Coordenador do PPGEC

### **Banca Examinadora:**

---

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Ph.D.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof. Dr. Ivo José Padaratz  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof. Dr. Moacir Kripka  
Universidade de Passo Fundo - UPF

---

Prof. Dr. Leandro F. Fadel Miguel  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC



Ao meu noivo, ao meu pai e a  
minha mãe, ao meu irmão e demais  
familiares, amigos e colegas. A vocês  
dedico este trabalho. Obrigada!



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois, sem Ele, eu não teria chegado até aqui.

Agradeço em especial à minha família, meus pais, ao meu irmão e ao meu noivo que sempre me incentivaram, apoiaram, aconselharam e me ajudaram em todos os sentidos. Essa conquista também é de vocês!

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Roberto Caldas de Andrade Pinto, pela aprendizagem, pelas reflexões, pelo exemplo e por me transmitir tranquilidade em meio às dificuldades que apareciam.

Aos demais familiares e amigos agradeço por estarem torcendo por mim.

Agradeço também aos colegas do GRUPEX e GEPEND, com os quais muito aprendi e pude dividir experiências e opiniões. O companheirismo e a amizade de vocês foram muito importantes durante todo o processo.

Agradeço também a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por contribuírem para meu aperfeiçoamento profissional. À secretaria do PPGEC, em especial às secretárias do programa, agradeço por toda a ajuda e excelente trabalho que desempenham.

Agradeço aos colegas de projeto, ao Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária (FAPEU), por me ajudarem e possibilitarem a realização dessa pesquisa e do estudo de caso, agradeço também aos colegas do ZAG que me receberam com muito apoio e solidariedade.

À banca examinadora, agradeço por todas as contribuições para aperfeiçoamento da pesquisa.

Muito Obrigada!



Nem todo conhecimento provém dos livros.  
Autor desconhecido



## RESUMO

GIOVANNETTI, Ana Carolina V. P. **Avaliação da Condição de Conservação de uma Ponte - Estudo de Caso**. f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

Pontes e viadutos, assim como as demais estruturas, estão sujeitas a degradação que dependendo de sua natureza e intensidade podem vir a afetar o seu comportamento estrutural. Tendo em vista a importância destas obras designadas tecnicamente como Obras de Arte Especiais – OAE, percebe-se a grande necessidade da realização de vistorias sistemáticas de forma a avaliar o seu estado de conservação. A partir destas vistorias, pode-se planejar ações de forma a minimizar seu processo de deterioração, a ocorrência de acidentes graves ou até mesmo o colapso da estrutura. Levando em conta que os recursos materiais e financeiros são finitos, ressalta-se a importância da avaliação e classificação das Obras de Arte Especiais existentes, utilizando um sistema confiável e integrado para que possa selecionar corretamente e priorizar as OAE que necessitem de reparo ou manutenção com maior urgência, otimizando as despesas. Não há entretanto um consenso entre os procedimentos específicos para a avaliação e classificação de pontes rodoviárias e viadutos em concreto armado utilizados no Brasil e em outros países. Com este foco, essa dissertação avalia e classifica uma ponte no interior do Estado de Goiás de acordo com duas metodologias diferentes: a metodologia utilizada atualmente no DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, e a utilizada na Eslovênia. Esta última foi escolhida, pois representa um modelo europeu de avaliação e classificação de OAE, que difere grandemente do modelo utilizado no Brasil. Por meio da comparação da classificação de ambas as metodologias, foi possível analisar as vantagens e desvantagens de cada método.

**Palavras-chave:** Obras de Arte Especiais, Inspeção, Avaliação, Manifestações Patológicas, Pontes.



## ABSTRACT

GIOVANNETTI, Ana Carolina V. P. **Bridge Assessment - Case Study.** f. Dissertation (Masters in Structures) - Program of Postgraduate in Civil Engineering - PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

All bridges, as other structures, are subject to degradation that, depending on the nature and intensity of it, could affect their structural behavior. Given the importance of these constructions, it is possible to realize the great need of conducting systematic access of the bridge's condition. From these assessments, it is possible to plan actions to minimize their deterioration process, the occurrence of serious accidents or even the collapse of the structure. Taking into account that the material and financial resources are finite, it is emphasize the relevance of the evaluation and the classification of the existing bridges, using a reliable and integrated system. In this way, it is possible to properly select and prioritize the urgency to repair or maintain each bridge, so it is possible to optimize the costs. There is not however, a consensus among specific procedures for the assessment and classification of bridges in Brazil and other countries. With this focus, this dissertation evaluates and classifies a bridge in the state of Goiás according to two different methodologies: the methodology currently used in DNIT - National Department of Transport of Infrastructure and the one used in Slovenia. The model used in Slovenia was chosen because it is a European model for assessment and classification of bridges, which greatly differs from the model used in Brazil. By comparing the rating of both methods, it was possible to analyze the advantages and disadvantages of each method.

**Keywords:** Bridges, Inspection, Assessment, Pathologies.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos da superestrutura (LENCIONI, 2005). .....	24
Figura 2 – Lei de Sitter (HABITAPLUS, 2013). .....	25
Figura 3 – Etapas da construção e uso das obras da construção civil (Adaptado de DEGUSSA, 2003). .....	30
Figura 4 – Fissura no encontro (NÓBREGA, 2007). .....	34
Figura 5 – Carbonatação por lixiviação .....	34
Figura 6 – Desagregação do concreto devido à corrosão das armaduras .....	35
Figura 7 – Corrosão de armadura.....	36
Figura 8 – Irregularidades da Pista de Rolamento (DNIT, 2004). .....	45
Figura 9 – Caminhão do tipo Munk, com braços articulados (DNIT, 2004). .....	50
Figura 10 – e-Bridge (e-Bridge).....	57
Figura 11 - Fluxograma da metodologia.....	59
Figura 12 - BR 101 Espírito Santo (LABTRANS, 2014).....	61
Figura 13 - BR 101 Espírito Santo (LABTRANS, 2014).....	62
Figura 14 - BR 381 Minas Gerais (LABTRANS, 2014) .....	63
Figura 15 - BR 101 Bahia e Sergipe (LABTRANS, 2014) .....	63
Figura 16 - BR 153 Goiás e Tocantins (LABTRANS, 2014).....	64
Figura 17 - Ponte sobre o Rio Lambari - Vista superior.....	67
Figura 18 - Canin+, Esclerometro, Ultrassom e Profometer .....	68
Figura 19 - Vista lateral.....	69
Figura 20 - Corte transversal.....	70
Figura 21 - Ensaio de pacômetria.....	71
Figura 22 - Ensaio de potencial de corrosão utilizando sonda de roda .	72
Figura 23 - Ensaio de potencial de corrosão utilizando sonda pontual .	72
Figura 24 - Ensaio de ultrassom.....	73
Figura 25 - Nicho de concretagem na laje .....	75
Figura 26 - Fissura com infiltração de água na laje .....	76
Figura 27 - Umidade e desagregação do concreto na laje .....	76
Figura 28 - Fissura na longarina sobre pilar .....	77
Figura 29 - Armadura exposta com presença de nicho de concretagem e corrosão. ....	77
Figura 30 - Longarina com baixo cobrimento .....	78
Figura 31 - Infiltração de água na transversina.....	78
Figura 32 - Desnível no encontro da ponte. ....	79
Figura 33 - Fissura do lado montante da proteção do talude do lado sul .....	80
Figura 34 - Fissura do lado jusante da proteção do talude do lado sul..	80

Figura 35 - Drenagem - Tubulação entupida .....	81
Figura 36 - Margem sul do rio .....	81
Figura 37 - Ala a jusante do lado sul apresentando fissura .....	82
Figura 38 - Barreira quebrada .....	82
Figura 39 - Barreira danificada .....	82
Figura 40 - Fissura no guarda roda .....	83
Figura 41 - Buraco no pavimento .....	83
Figura 42 – Sistema WIM para pontes (DNIT, 2007).....	108
Figura 43 – Transdutor de deformação instalado (DNIT, 2008).....	108
Figura 44 – Pavimento da ponte: o SiWIM é invisível ao tráfego (FAVAI, 2006 apud DNIT 2008).....	109
Figura 45 – Sensores SiWIM instalados sob a ponte (FAVAI, 2006 apud DNIT 2008).....	109
Figura 46 – Linha de influência na secção central de uma viga biapoiada .....	110
Figura 47 - Rio Passa Três - Placa de sinalização .....	113
Figura 48 - Rio Passa Três - Vista superior .....	113
Figura 49 - Rio Passa Três - Vista Lateral.....	114
Figura 50 - Ponte sobre o Córrego Mato Grosso - Vista superior.....	114
Figura 51 - Ponte sobre o Córrego Mato Grosso - Visão geral .....	115
Figura 52 - Ponte sobre o Córrego Vai e Vem - Vista superior .....	115
Figura 53 - Ponte sobre o Córrego Vai e Vem - Vista inferior .....	116
Figura 54 - Ponte sobre o Córrego Itingujada – Vista superior.....	116
Figura 55 - Ponte sobre o Córrego Itingujada – Vista Inferior.....	117
Figura 56 - Ponte sobre o Rio do Ouro - Vista superior .....	117
Figura 57 - Ponte sobre o Rio do Ouro - Vista geral .....	118
Figura 58 -Ponte sobre o Córrego do Funil - Vista superior .....	118
Figura 59 - Ponte sobre o Córrego do Funil - Vista geral .....	119
Figura 60 - Ponte sobre o Rio Cana-Brava - Vista superior .....	119
Figura 61 - Ponte sobre o Rio Cana-Brava- Vista geral .....	120
Figura 62 - Velocidade da onda de ultrassom na laje - Ensaio 1.....	126
Figura 63 - Velocidade da onda de ultrassom na laje - Ensaio 2.....	127
Figura 64 - Ensaio de Carbonatação, P1 Sul .....	128
Figura 65 - Ensaio de carbonatação, V1 Sul.....	128
Figura 66 - Ensaio de carbonatação, V1 Norte .....	129

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Probabilidade de ocorrer corrosão da armadura .....	48
Tabela 2 - Velocidade da onda ultrasônica X Qualidade do concreto (NBR 8802, 2013) .....	49
Tabela 3 – Atribuições do Inspetor (DNIT, 2004).....	51
Tabela 4 – Descrição das notas de avaliação dos elementos estruturais (DNIT, 2004) .....	55
Tabela 5 – Sistema de classificação utilizado na Eslovênia (COST 345, 2007). .....	56
Tabela 6 – Índice K2 .....	58
Tabela 7 – Pontes Inspeccionadas.....	65
Tabela 8 - Cobrimento nos pilares (mm) .....	84
Tabela 9 - Cobrimento na longaria V1 (mm).....	84
Tabela 10 - Valores do potencial de corrosão na V1-S (mV).....	85
Tabela 11- Índices Esclerométricos nos Pilares.....	86
Tabela 12 - Índices Esclerométricos nas vigas .....	86
Tabela 13 - Leitura do Ultrassom, lado Sul .....	87
Tabela 14 - Leitura do Ultrassom, lado Norte .....	87
Tabela 15- Profundidade de Carbonatação .....	88
Tabela 16 - Notas de acordo com o método do DNIT.....	89
Tabela 17 - Classificação de acordo com o método do ZAG .....	92
Tabela 18 - Classificação de acordo com adaptação do método da Eslovênia.....	98
Tabela 19 – Cobrimento dos Pilares .....	121
Tabela 20 - Índices esclerométricos dos pilares.....	124
Tabela 21 - Índices esclerométricos das vigas .....	124
Tabela 22 - Índices esclerométricos das lajes .....	124
Tabela 23 - Leitura do Ultrassom, lado Sul .....	125
Tabela 24 - Leituras do Ultrassom na laje, ensaio 1 .....	125
Tabela 25 - Leituras do Ultrassom na laje, ensaio 2 .....	126
Tabela 26 - Leitura do Ultrassom, lado Norte .....	127
Tabela 27 - Temperaturas sobre a ponte .....	129
Tabela 28 - Temperaturas na superestrutura .....	129
Tabela 29 - Umidade na superestrutura do lado Sul.....	130
Tabela 30 - Umidade na laje do lado Norte .....	130



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	27
1.2 OBJETIVOS .....	27
<b>1.2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>27</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>27</b>
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	28
<b>2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES E VIADUTOS.....</b>	<b>29</b>
2.1 ORIGEM DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....	29
<b>2.1.1 Defeitos de Projeto .....</b>	<b>30</b>
<b>2.1.2 Defeitos de Materiais .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1.3 Defeitos de Execução .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1.4 Defeitos de Utilização.....</b>	<b>33</b>
2.2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS USUAIS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO NO BRASIL .....	33
<b>3. INSPEÇÕES DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS .....</b>	<b>37</b>
3.1 TIPOS DE INSPEÇÃO .....	37
<b>3.1.1 Inspeção Cadastral .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1.2 Inspeção Rotineira .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1.3 Inspeção Especial .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1.4 Inspeção Extraordinária .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1.5 Inspeção Intermediária .....</b>	<b>41</b>
3.2 PLANEJAMENTO DAS INSPEÇÕES .....	42
3.3 PROCEDIMENTO DAS INSPEÇÕES .....	43
<b>3.3.1 Procedimentos Particulares .....</b>	<b>43</b>
3.4 EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO .....	46
<b>3.4.1 Equipamentos Comuns .....</b>	<b>46</b>
<b>3.4.2 Equipamentos Especiais e Ensaios Não Destrutivos .....</b>	<b>47</b>
<b>3.4.3 Métodos de Acesso .....</b>	<b>49</b>
3.5 CAPACITAÇÃO DOS INSPETORES.....	50
3.6 RESPONSABILIDADES E DEVERES DO INSPETOR DE PONTES .....	52

3.7	APLICAÇÃO DAS INFORMAÇÕES COLETADAS .....	53
3.7.1	Avaliação do Estado das Obras de Arte Especiais ...	53
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>59</b>
4.1	DEFINIÇÃO DO TRECHO E PONTE UTILIZADA COMO ESTUDO DE CASO .....	60
4.2	INSPEÇÃO DETALHADA DA PONTE ESCOLHIDA .....	67
4.2.1	Detecção do cobrimento das armaduras .....	71
4.2.2	Potencial de corrosão.....	71
4.2.3	Esclerometria .....	73
4.2.4	Ultrassom.....	73
4.2.5	Carbonatação.....	74
4.3	AVALIAÇÃO DA PONTE POR AMBOS OS MÉTODOS... ..	74
<b>5.</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>75</b>
5.1	INSPEÇÃO DETALHADA DA PONTE SELECIONADA... ..	75
5.1.1	Laje: .....	75
5.1.2	Longarinas e transversinas:.....	77
5.1.3	Encontro .....	79
5.1.4	Proteção do talude .....	79
5.1.5	Drenagem.....	79
5.1.6	Margem do Rio .....	81
5.1.7	Ala.....	81
5.1.8	Barreira.....	82
5.1.9	Guarda Roda.....	82
5.1.10	Pavimento .....	83
5.2	RESULTADO DOS ENSAIOS .....	83
5.2.1	Medida do cobrimento das armaduras .....	84
5.2.2	Potencial de Corrosão .....	85
5.2.3	Esclerometria .....	86
5.2.4	Ultrassom.....	87
5.2.5	Carbonatação.....	88
5.3	AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DA PONTE SELECIONADA .....	89
5.3.1	Método DNIT .....	89
5.3.2	Método Utilizado pelo ZAG.....	91
<b>6.</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>95</b>

6.1	ARMAZENAMENTO DAS INFORMAÇÕES .....	95
6.2	INSPEÇÕES .....	95
6.3	CAPACITAÇÃO DOS INSPETORES .....	95
6.4	UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE OAE.....	96
6.5	AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO .....	96
6.6	ESTUDO DE CASO.....	97
	<b>6.6.1 Adaptação da metodologia eslovena .....</b>	<b>98</b>
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>101</b>
7.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS ....	101
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>103</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>107</b>
	<b>APÊNDICE A - AVALIAÇÃO ESTRUTURAL COM UTILIZAÇÃO DA PESAGEM EM MOVIMENTO.....</b>	<b>107</b>
A.1.	PESAGEM EM MOVIMENTO EM PONTES .....	107
A.2.	AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA .....	111
	<b>APÊNDICE B - PONTES AO LONGO DO TRECHO SELECIONADO .....</b>	<b>113</b>
B.1.	PONTE SOBRE O RIO PASSA TRÊS .....	113
B.2.	PONTE SOBRE O CÓRREGO MATO GROSSO.....	114
B.3.	PONTE SOBRE O CÓRREGO VAI E VEM.....	115
B.4.	PONTE SOBRE O CÓRREGO ITINGUIJADA.....	116
B.5.	PONTE SOBRE O RIO LAMBARI .....	117
B.6.	PONTE SOBRE O RIO DO OURO .....	117
B.7.	PONTE SOBRE O CÓRREGO DO FUNIL.....	118
B.8.	PONTE SOBRE O RIO CANA-BRAVA.....	119
	<b>APÊNDICE C - RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NA PONTE SOBRE O RIO LAMBARI.....</b>	<b>121</b>
C.1.	DETECTOR DE COBRIMENTO DE ARMADURA.....	121
C.2.	ESCLEROMETRIA .....	123
C.3.	ULTRASSOM .....	125
C.4.	CARBONATAÇÃO .....	127
C.5.	TEMPERATURA SUPERFICIAL .....	129
C.6.	UMIDADE SUPERFICIAL .....	130



## 1. INTRODUÇÃO

A Norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes (DNIT) 010/2004 - Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento (2004) conceitua ponte como estrutura, inclusive apoios, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, construída sobre uma obstrução, tais como água, rodovia ou ferrovia e possui um vão livre de mais de seis metros. O DNIT inclui nesta definição viadutos, passagens superiores e passagens inferiores. Pontes são conhecidas tecnicamente como obras de arte especiais (OAE).

De acordo com o Manual do DNIT (2004), as pontes podem ser divididas em três partes: estrado, superestrutura e infraestrutura:

- Estrado - elemento da ponte no qual a carga móvel atua diretamente, possui função estrutural de transferir as cargas a outros elementos da ponte. Usualmente, é composto por lajes e um sistema estrutural secundário. Em alguns tipos de pontes, como as pontes em laje de concreto armado, o estrado e a superestrutura são um único elemento que transfere as cargas diretamente aos apoios.
- Superestrutura - é o elemento da ponte que suporta o estrado e todas as cargas nele aplicadas, possui função estrutural de transmitir as cargas do estrado, ao longo dos vãos, para os apoios. Alguns elementos da superestrutura, além do tabuleiro, estão mostrados na Figura 1.
  - Elementos Secundários da superestrutura: são os elementos estruturais transversais, projetados para contraventar a superestrutura ou distribuir as cargas entre as diversas vigas longitudinais.
- Infraestrutura - componente que engloba todos os elementos que suportam a superestrutura, possui a função de transmitir as cargas da superestrutura, e a sua própria carga, às fundações, diretas ou profundas. Há dois elementos básicos nas infraestruturas: encontros e pilares.
  - Encontros: elementos que suportam as extremidades das pontes, ao mesmo tempo em que arrimam os acessos rodoviários;
  - Pilares: isolados, maciços ou aporticados, são os apoios intermediários.

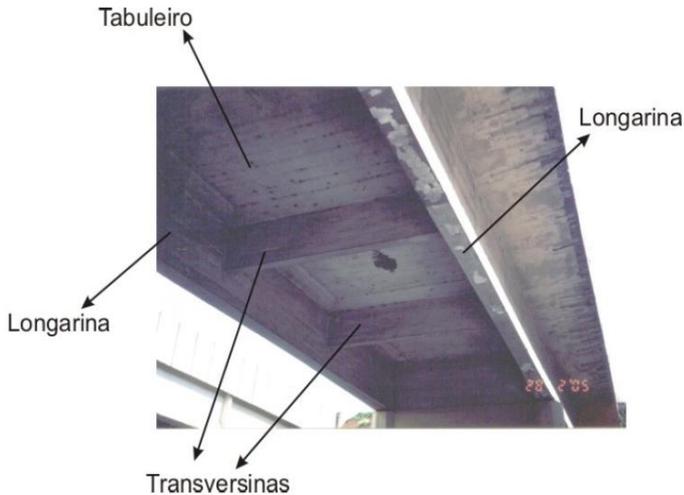


Figura 1 – Elementos da superestrutura (LENCIONI, 2005).

As primeiras normas brasileiras relacionadas ao cálculo e execução de estruturas de concreto armado abrangiam obras com diferentes geometrias transversais, calculadas para solicitações causadas por diferentes carregamentos e dimensionadas e detalhadas seguindo os critérios utilizados na época da realização de seus projetos, critérios esses não mais aceitos (DNIT, 2004).

Deste modo, no Brasil existem pontes de diferentes idades, projetadas e dimensionadas segundo diferentes critérios, portanto, o perfil das pontes da maioria das rodovias, senão da totalidade, é bastante heterogêneo.

Em estudo realizado no município de Pato Branco-PR, verificou-se que, no total de 58 pontes vistoriadas, 22% delas estão em situações precárias e 17% em situação sofrível (MILANI, KRIPKA e PRAVIA, 2012).

Levando em conta que os recursos materiais e financeiros são finitos, ressalta-se a importância da conservação das OAE existentes, utilizando-se para isso um sistema confiável e integrado de fiscalização, avaliação e manutenção destas obras.

Este conjunto de obras, envelhecidas e degradadas, deve ser cuidadosa e regularmente inspecionada, para que sejam avaliadas a capacidade de carga, segurança e conforto que oferecem aos usuários além da necessidade de manutenção e melhoramento.

Quanto mais se demorar em realizar a manutenção de uma obra mais os reparos serão trabalhosos e onerosos. A Lei de Sitter, Figura 2, mostra que os diferentes custos, relacionados com as etapas de projeto, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva, crescem segundo uma progressão geométrica de razão cinco.

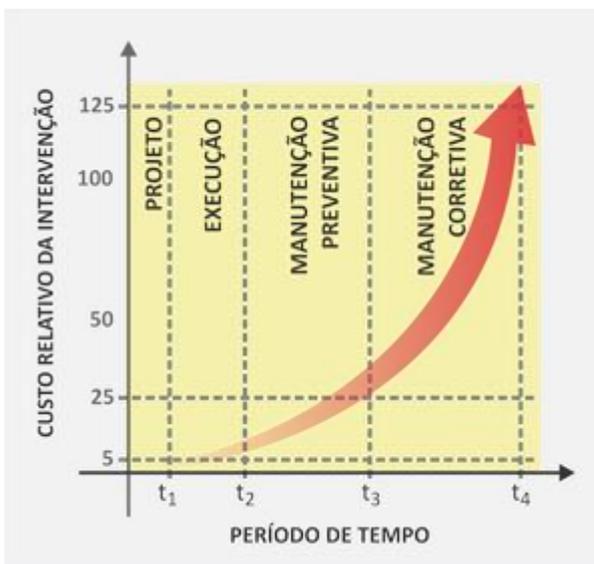


Figura 2 – Lei de Sitter (HABITAPLUS, 2013).

Helene (1992) interpreta essas etapas como:

- Projeto: as medidas tomadas em nível de projeto com o objetivo de aumentar a proteção e durabilidade da estrutura são associadas a um baixo custo. Exemplos dessas medidas são aumentar o cobrimento, reduzir a relação água/cimento, especificar tratamentos superficiais.
- Execução: as medidas executadas durante a execução possuem um custo cinco vezes maior que as medidas realizadas na etapa de projeto para obter-se um mesmo “grau” de durabilidade.
- Manutenção preventiva: Para obtenção do mesmo “grau” de durabilidade e proteção, medidas tomadas com antecedência para prevenir o surgimento de defeitos têm

um custo vinte e cinco vezes superior que o custo das medidas na etapa de projeto.

- Manutenção corretiva: Envolve os trabalhos de diagnóstico, prognóstico, reparo e proteção das estruturas que já possuem manifestações patológicas. Essa manutenção apresenta um custo cento e vinte e cinco vezes superior aos custos das medidas que poderiam ter sido tomadas na etapa de projeto.

Portanto destaca-se a importância da realização de inspeções nas OAE para que se possa detectar quando uma estrutura de obra de arte especial encontra-se deteriorada (corrosão de aço, concreto em mau estado, etc.) e precisa de intervenção.

Segundo o DNIT (2004) outros conceitos são importantes quando se fala de inspeção e patologia, tais como:

Manutenção: atividades com o objetivo de manter o estado atual da obra como atividades de limpeza, pintura substituição de drenos.

Recuperação: é o conjunto das atividades realizadas com o intuito de eliminar os defeitos e diminuir a velocidade de degradação e, como consequência, aumentar a vida útil.

Reforço: conjunto de atividades que envolvam acréscimo ou substituição de materiais estruturais para restituir à ponte suas condições iniciais e sua capacidade de carga.

Reabilitação: é o conjunto de atividades que, além de recuperar e reforçar introduz alterações, como por exemplo, aumento da capacidade de carga, alargamento, passeios laterais.

Este trabalho faz parte de uma pesquisa maior envolvendo o Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) e o ZAG - Instituto Nacional Esloveno de Construção e Engenharia Civil. Neste convênio, estão sendo realizadas pesquisas utilizando-se a Pesagem em Movimento em Pontes (*Bridge Weigh in Motion – BWIM*) como ferramenta para a avaliação estrutural.

Esta ferramenta utiliza o comportamento real verificado da ponte frente aos carregamentos para avaliar a segurança estrutural apurada. Nesta verificação, além de medições de deformação e de carga realizadas *in loco*, é necessária uma inspeção prévia detalhada da ponte de forma a incluir o seu possível estado de degradação na avaliação estrutural final.

Este trabalho tem como foco principal esta etapa prévia de inspeção, estudando-se os métodos de inspeção de pontes do DNIT e do ZAG. Essas duas metodologias utilizam procedimentos bem diferentes para se classificar as pontes avaliadas e, por conseguinte, pode-se

comparar a metodologia de classificação de ambos os métodos para, então, analisar as vantagens e desvantagens de cada um.

Para a realização deste trabalho foi selecionado um trecho de rodovia federal não privatizada e que possuísse um fluxo intenso e significativo de veículos pesados. As pontes presentes nesse trecho foram visualmente inspecionadas e uma delas selecionada para a realização do estudo de caso aqui apresentado.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil e em outros países, existem várias normas e manuais tratando sobre inspeção e avaliação das condições de pontes, especificando a periodicidade e maneira de se realizarem as inspeções assim como a capacitação dos inspetores.

A metodologia utilizada na Europa difere da utilizada no Brasil. Tomando como exemplo a utilizada na Eslovênia, a classificação do estado de conservação de uma ponte leva em consideração todos os danos observados ponderando-se as suas intensidades e naturezas diversas. No Brasil, por outro lado, avalia-se a OAE a partir do elemento estrutural mais degradado. Comparando-se essas duas metodologias pode-se chegar a um aprimoramento das técnicas e ferramentas utilizadas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar os métodos de avaliação e classificação da condição estrutural de pontes de concreto armado utilizados no Brasil e na Eslovênia e aplicá-los em um estudo de caso com o intuito de aprimorar as técnicas de inspeção e avaliação de OAE.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudar as principais manifestações patológicas existentes em OAE.

Estudar sobre planejamento e procedimento de inspeções para se aplicar no estudo de caso.

Pesquisar sobre a utilização de ensaios não destrutivos para avaliar estruturas.

Estudar sobre o método de avaliação das condições de conservação de pontes e viadutos utilizado pelo DNIT e pelo instituto ZAG. Aplicar esses estudos na avaliação de uma ponte no Brasil para que se possa examinar a utilização de ambos os métodos.

### 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em 7 capítulos, incluindo a introdução e as referências bibliográficas, acrescidos de 3 apêndices.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica referente as Manifestações Patológicas, suas origens, os defeitos mais típicos encontrados em pontes.

A revisão bibliográfica referente às Inspeções em Pontes é apresentada no Capítulo 3. Esse capítulo trata dos tipos de inspeções existentes, do planejamento e procedimento das mesmas, abordando também os equipamentos utilizados assim como uma breve explicação de alguns ensaios não destrutivos que podem auxiliar na detecção dos mesmos. Além disso, apresenta-se uma revisão sobre a capacitação dos inspetores e as metodologias de avaliação de pontes utilizadas nesse trabalho.

No Capítulo 4 inicia-se a explicação da metodologia utilizada desde a definição do trecho, inspeção visual de todas as pontes, seleção da ponte para a realização do estudo, inspeção detalhada da mesma e sua avaliação.

O estudo de caso é apresentado no Capítulo 5, mostrando os resultados obtidos das inspeções e ensaios realizados, além da avaliação da ponte por ambos os métodos estudados.

Finalmente, no Capítulo 6, são apresentadas as discussões e no Capítulo 7 as considerações finais, sugestões e recomendações para trabalhos futuros.

## 2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES E VIADUTOS

Patologia é a área da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos de ocorrência, as causas e as origens dos defeitos das obras da construção civil, sendo considerada o estudo das partes componentes do diagnóstico (DEGUSSA, 2003).

Defeito é conceituado na Norma do DNIT (2004) como falta de conformidade com qualquer das condições especificadas no projeto ou em condições preestabelecidas. Esta norma ainda classifica defeitos em três tipos.

- Defeito tolerável
  - Defeito que não diminui substancialmente o desempenho da obra.
- Defeito grave
  - Defeito que pode afetar, em parte, o comportamento da obra.
- Defeito crítico
  - Defeito que pode afetar, de forma acentuada, o comportamento da obra.

A condição de uma Obra de Arte Especial pode ser afetada por diversos fatores, seja atuando isoladamente ou combinados. Um julgamento confiável dos defeitos e de suas causas é essencial para avaliar a condição de uma estrutura, a sua capacidade de carga, tempo de serviço remanescente, utilidade e funcionalidade, bem como para a determinação de reparos necessários.

### 2.1 ORIGEM DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

A carência de um detalhe do projeto, uma falha na fase de construção, o desconhecimento do operário, o descuido do engenheiro, um detalhe que foi esquecido, todos esses fatores podem levar ao surgimento de defeitos que, se não forem devidamente tratados e corrigidas, podem trazer problemas maiores para a construção, ou até mesmo levá-la a ruína.

As manifestações patológicas podem ter origem em, pelo menos, uma das cinco grandes etapas do processo de construção e uso de uma obra, como mostrado na Figura 3.



Figura 3 – Etapas da construção e uso das obras da construção civil (Adaptado de DEGUSSA, 2003).

### 2.1.1 DEFEITOS DE PROJETO

Diversas falhas podem ocorrer durante a etapa de projeto da estrutura. Sousa e Ripper (1998) citam exemplos de falhas de projeto que podem gerar defeitos estruturais:

- Modelização estrutural inadequada – Avaliação incorreta das características da estrutura, como ações, materiais constituintes e comportamento estrutural. Um dos erros mais comuns é a consideração de engastamento total ou parcial de vigas e lajes.
- Má avaliação das cargas – Na grande parte das estruturas, a observação correta das Normas que regem as considerações de carregamento nos projetos estruturais assegura que, durante a vida útil da estrutura, não haverá cargas que excedam as cargas previstas.

- Detalhamento errado ou insuficiente – Este fator acarreta sérios erros que podem levar ao aparecimento de manifestações patológicas sérias na estrutura. A falha do detalhamento das armaduras por não conhecimento do projetista ou utilização de escala inadequada muitas vezes ocasiona comprimentos de ancoragens insuficientes, espaço insuficiente para a vibração do concreto entre outros problemas.
- Inadequação ao ambiente – O exemplo mais corriqueiro seria o cobrimento insuficiente, assim como a ausência de pingadeiras.
- Incorreção na interação solo-estrutura – Por vezes o ensaio de sondagem é colocado em segundo plano ou seus resultados são erroneamente interpretados, o que pode levar a utilização de fundações não adequadas, com dimensões insuficientes, apoiarem-se em solos com deformabilidade incompatível com a rigidez da superestrutura, gerando recalque de apoio.

## 2.1.2 DEFEITOS DE MATERIAIS

O uso de materiais de baixa qualidade ou a insuficiência de materiais pode produzir estruturas com resistências inferiores às especificadas e, portanto, aumentar as despesas com as obras de reparo.

O relatório da ação COST 345 (2007)<sup>1</sup> cita que defeitos e deterioração podem ocorrer, com causa devido aos materiais, quando:

- As propriedades dos materiais não foram testadas, são desconhecidas ou não foram bem compreendidas durante a execução da obra.
- Baixo controle de qualidade durante a construção.

Alguns dos casos mais comuns de utilização incorreta dos materiais de construção são mencionados por, Sousa e Ripper (1998):

- Utilização de concreto com resistência inferior ao especificado, seja por erro na encomenda, fornecimento ou mistura na obra;

---

<sup>1</sup>A ação COST 345 envolveu especialistas de 16 países europeus, sendo realizada com o intuito de definir os procedimentos para avaliação das estruturas de rodovias.

- Utilização de aço com categorias ou bitolas diferentes das especificadas;
- Camada do solo, de assentamento da fundação, com resistência inferior a especificada;
- Uso de agregados reativos, possibilitando reações expansivas e potencializando a degradação e fissuração do concreto;
- Inadequada utilização de aditivos;
- Dosagem incorreta do concreto.

### 2.1.3 DEFEITOS DE EXECUÇÃO

Sousa e Ripper (1998) apresentam algumas causas de patologia devido a falhas humanas durante a construção, na maioria das vezes causada pela deficiência da qualificação profissional:

- Deficiência de concretagem – As manifestações patológicas mais comuns são segregação entre agregado graúdo e argamassa, ninhos de concretagem e cavidades no concreto, estão relacionadas com a falha no transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto.
- Inadequação de formas e escoramentos – Falta de limpeza e de aplicação de desmoldante, insuficiência de estanqueidade, retirada prematura de formas e escoramentos, retirada incorreta dos escoramentos.
- Deficiência nas armaduras – Má interpretação dos projetos, insuficiência de armadura, mau posicionamento das armaduras, cobrimento de concreto insuficiente, dobramento inadequado das barras, deficiência nas ancoragens, deficiência nas emendas, má utilização de anticorrosivos.
- Utilização incorreta dos materiais de construção – resistência a compressão característica inferior ao especificado, aço diferente do especificado, solo com características diferentes, utilização de agregados reativos, utilização inadequada de aditivos, dosagem inadequada do concreto.
- Inexistência de controle de qualidade – Maior de todas as causas relacionadas a falhas humanas na construção,

portanto é de fundamental importância durante a fase de execução a assistência de um engenheiro tecnologista.

#### **2.1.4 DEFEITOS DE UTILIZAÇÃO**

Defeitos de utilização relacionados com causas inerentes às estruturas estão diretamente ligadas à falta de manutenção, os demais fatores são extrínsecos à estrutura (SOUSA E RIPPER, 1998).

Sousa e Ripper (1998) citam causas extrínsecas que podem gerar defeitos devido ao uso das estruturas:

- Alterações estruturais – em casos nos quais, sem algum estudo prévio, submete-se a estrutura a mudanças no seu comportamento estático e/ou resistente;
- Sobrecargas exageradas;
- Alterações das condições do terreno de fundação – Ausência de cuidado entre novas construções e construções já existentes;
- Choque de veículos;

Além dessas causas, carregamentos ocasionados por eventos naturais, como inundações, terremotos, deslizamentos de terra e fogo podem danificar as estruturas. Estes danos podem ser evidentes somente muitos anos após o evento (COST 345, 2007).

#### **2.2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS USUAIS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO NO BRASIL**

De acordo com Vitório (2002) os principais defeitos encontrados em pontes e viadutos são:

- Fissuras - causadas pela baixa resistência do concreto à tração podem ser classificadas como passivas - estáveis - ou ativas - em movimentação. A Figura 4 exhibe uma fissura encontrada no encontro de uma ponte.
- Carbonatação - transformação do hidróxido de cálcio, com alto pH, em carbonato de cálcio, que tem um pH mais neutro. A redução do pH do concreto é um problema, pois facilita a corrosão das armaduras. A Figura 5 apresenta o tabuleiro de uma ponte com a presença de carbonatação por lixiviação;



Figura 4 – Fissura no encontro (NÓBREGA, 2007).



Figura 5 – Carbonatação por lixiviação

- Desagregação - separação de fragmentos de concreto, ocasionada, geralmente, pela expansão gerada devido à oxidação das armaduras, conforme apresentado na Figura

6. Outras causas possíveis são às movimentações estruturais e choques;



Figura 6 – Desagregação do concreto devido à corrosão das armaduras

- Disgregação - ruptura do concreto, em especial nas regiões proeminentes da estrutura.
- Segregação - separação entre os componentes do concreto - a brita e a argamassa - em seguida ao lançamento;
- Perda de aderência - entre a armadura e o concreto ou entre dois concretos;
- Corrosão das armaduras - a região oxidada da armadura aumenta o seu volume em aproximadamente oito vezes causando uma força de expansão que expelle o concreto do cobrimento, expondo a armadura à ação do meio, conforme apresenta a Figura 7. Se esse fenômeno persistir, pode acarretar na total destruição da armação;
- Corrosão do concreto – os principais fatores destrutivos do concreto são os agentes ácidos, os sulfatos, o cloro e seus compostos, os nitratos e nitritos. Até mesmo a água pura, como é o caso das águas de chuvas nas pontes, pode ocasionar problemas no concreto devido à infiltração e ao

acúmulo ocasionado pela ausência de pingadeiras e deficiências nas juntas e na drenagem;



Figura 7 – Corrosão de armadura

- Movimentações estruturais - ocasionadas, entre outros motivos, por recalques diferenciais, vibrações excessivas, variações de temperatura;
- Calcinação - ressecamento das camadas superficiais do concreto acarretado por incêndios.

As principais manifestações patológicas visualizadas nos elementos da superestrutura de 58 pontes de concreto analisadas em um estudo no estado do Paraná foram (MILANI, KRIPKA, 2012):

- 83% com armadura exposta;
- 70% com falhas no sistema de drenagem;
- 67% com abrasão no concreto do tabuleiro;
- 67% com falhas de concretagem.

### 3. INSPEÇÕES DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Denomina-se inspeção ou vistoria o conjunto de procedimentos técnicos, realizados de acordo com um planejamento prévio, o qual fornece informações sobre a obra em um determinado instante.

De acordo com Vitório (2002), esta é a etapa na qual são realizadas as anotações com base no roteiro adotado, de maneira que não se esqueça de qualquer detalhe que possa vir a ser útil para a interpretação do comportamento estrutural, bem como para o diagnóstico final da vistoria. Esta também é a ocasião de se efetuarem as fotografias que irão compor o relatório e que serão importantes no esclarecimento das anomalias que possam existir na obra.

A COST 345 (2007) apresenta as seguintes razões para inspecionar uma estrutura:

- Confirmar que a estrutura está apta para a devida finalidade e permanecerá assim no futuro imediato - isto é, a taxa de deterioração é aceitavelmente baixa;
- Identificar quaisquer defeitos óbvios ou casos de mau uso, tais como a sobrecarga dos veículos, que pode afetar a segurança do público.
- Estabelecer planos e orçamentos para a realização de obras de intervenção.

#### 3.1 TIPOS DE INSPEÇÃO

A Norma do DNIT (2004) apresenta cinco tipos de inspeções: cadastral, rotineira, especial, extraordinária e intermediária.

De acordo com a COST 345 (2007), o procedimento de inspeção utilizado na maioria dos países europeus recomenda três tipos básicos de inspeção – Superficial, Principal e Especial - mas, na prática, a Principal é geralmente subdividida em Geral e Detalhada. Apesar da grande uniformização nos procedimentos adotados em vários países, há diferenças, por exemplo, na frequência da inspeção e nos detalhes da investigação.

Além dessas inspeções citadas, existe a inspeção submersa, que é uma inspeção mais cara, pois precisa de equipamentos e pessoal especializados.

### 3.1.1 INSPEÇÃO CADASTRAL

Logo após a construção é realizada a Inspeção Cadastral, quando ainda se encontram disponíveis os elementos de projeto e os relatórios da fiscalização ou supervisão. Essa inspeção servirá de referência para todas as inspeções posteriores, portanto deve ser minuciosa e realizada por uma equipe comandada por um inspetor.

A Inspeção Cadastral também deve ser realizada quando houver uma modificação na configuração estrutural de uma OAE (alargamento, reforços para mudança de classe, bloqueio de articulações etc.).

Para realizar esta inspeção é necessário coletar alguns documentos:

*Os elementos de projeto, topográficos, geotécnicos, hidrológicos e outros; O detalhamento do projeto e sua respectiva aprovação pelo proprietário da obra; Memoriais justificativos, descritivo e de cálculo; Planos de trabalho de execução, abrangendo planos de execução de fundações, cimbramentos, concretagens, descimbramentos e desformas; Os relatórios de fiscalização e/ou supervisão da obra; O contrato de construção e o termo de recebimento da obra; O contrato de fiscalização ou de supervisão da obra; Os registros de controle de execução das fundações; As referências topográficas, deixadas na estrutura, para controle de deformações a longo prazo; O final do período de garantia. (DNIT, 2004).*

As informações mais importantes para trabalhos de inspeção e manutenção das obras são os seguintes:

*Os desenhos do projeto aprovado, com as eventuais alterações ocorridas na fase construtiva; A completa caracterização dos materiais utilizados; a comparação entre as resistências especificadas e as ensaiadas para os diversos tipos de aço e de concreto; Para obras em concreto protendido, a comparação entre os alongamentos medidos e os alongamentos estimados em projeto, para os cabos de protensão e o controle da injeção dos cabos de protensão. (DNIT, 2004).*

Os resultados da Inspeção Cadastral serão registrados em fichas específicas que constam no anexo da norma. Uma Inspeção Especial deve ser solicitada caso sejam observados defeitos que possam afetar o comportamento da obra, defeitos críticos ou graves.

Em alguns países europeus existe um tipo específico de inspeção detalhada, que se assemelha a inspeção cadastral, como a de Aceitação e Inspeções de Garantia. Uma inspeção de aceitação é realizada em uma nova estrutura antes de ser aberta ao tráfego, tem o objetivo de identificar e registrar todo o trabalho que ainda está em dívida em relação ao contrato antes que a responsabilidade por estes trabalhos não executados passe para a manutenção. A Inspeção de Garantia deve ser realizada antes do final do período de garantia.

### **3.1.2 INSPEÇÃO ROTINEIRA**

As Inspeções Rotineiras são periódicas, devendo ser realizadas a cada dois anos. Nessas inspeções verifica-se visualmente a evolução de falhas detectadas nas inspeções anteriores, anotam-se novos defeitos e ocorrências, tais como reparos, reforços, recuperações e qualquer modificação de projeto, realizadas no período. As Inspeções Rotineiras registram os defeitos visualizados no exterior das estruturas. As avaliações de alinhamento, prumo e deformações podem ser feitas visualmente.

No caso de não existir ou não ser encontrada a Inspeção Cadastral, a primeira Inspeção Rotineira deve ser transformada em Inspeção Cadastral, seguindo-se todos os procedimentos já explicitados. Analogamente, modificações substanciais na estrutura da ponte, determinam uma nova Inspeção Cadastral.

Os resultados da Inspeção Rotineira serão registrados em fichas específicas que constam no anexo da Norma. Se forem observados defeitos críticos ou graves deverá ser requerida uma Inspeção Especial.

A Inspeção Geral, que é realizada em alguns países europeus, se assemelha a esta inspeção. Este tipo de inspeção é composto por um exame visual de todos os elementos da estrutura que podem ser acessados sem a necessidade de equipamentos especializados. Os objetivos da inspeção são detectar todos os defeitos que podem ser vistos a partir do solo e para avaliar a condição da estrutura. A inspeção é realizada por técnicos que podem ter algum treinamento específico em patologia das estruturas, mas o treinamento devido à experiência no trabalho também é comum. Em estruturas particularmente complexas pode ser necessário a presença de inspetores qualificados ou experientes. A frequência recomendada desse tipo de inspeção é de dois a três anos - desde que as inspeções superficiais também sejam realizadas. Os resultados da

inspeção devem conter, se necessário, uma descrição dos defeitos e recomendações para uma inspeção mais detalhada.

A inspeção superficial, mencionada acima, também realizada em alguns países europeus, geralmente é realizada por pessoal sem conhecimento especializado em estruturas de rodovias. A inspeção é praticamente uma verificação superficial: pode ser feita a partir do solo ou de uma passarela ou plataforma construída. Os objetivos são avaliar o estado geral da estrutura para observar qualquer alteração no estado e identificar os defeitos na estrutura e no seu entorno que podem representar perigo para o público ou levar a altos custos de manutenção. Em alguns países, esse tipo de inspeção é realizada anualmente, mas na maioria ela é realizada continuamente pelo pessoal da manutenção das estradas.

### 3.1.3 INSPEÇÃO ESPECIAL

As Inspeções Especiais são essencialmente inspeções visuais pormenorizadas. Essas inspeções são realizadas em intervalos não superiores a cinco anos e comandadas por um inspetor sênior. As partes que forem difíceis de acessar devem ser examinadas por meio de lunetas, andaimes ou veículos especiais dotados de lança e gôndolas. Ainda pode ser necessário complementar as informações com medidas de flechas e deformações, efetuadas com instrumental de precisão.

As Inspeções Especiais devem ser realizadas quando:

*A Inspeção Cadastral ou a Inspeção Rotineira revelar defeitos graves ou críticos na estrutura da obra; Em pontes que se distinguem por seu formato ou complexidade, em intervalos regulares e não ultrapassando o período de cinco anos e em substituição às Inspeções Rotineiras;*

*Em ocasiões especiais, como antes e durante a passagem de cargas excepcionais. (DNIT, 2004).*

No caso de pontes em caixão, é imperativa uma inspeção meticulosa no seu interior, com a utilização de iluminação artificial e, às vezes, até de ventilação; o acesso ao interior do caixão já deve ter sido provisionado, devido à recomendação de inspeção rotineira anterior.

A descrição minuciosa dos motivos que ocasionaram a necessidade da Inspeção Especial, bem como as medidas dela decorrentes e um documentário fotográfico deverão constar de um relatório.

O relatório da COST 345 (2007) apresenta a inspeção Detalhada, a qual pode ser relacionada com a inspeção especial. A inspeção Detalhada compreende um exame visual próximo de todas as partes

acessíveis da estrutura, terraplenagens adjacentes e vias navegáveis: em alguns países, pode incluir alguns testes. Equipamentos ou instalações especializadas podem ser necessários para que o inspetor possa chegar perto o suficiente da estrutura. Em alguns países a inspeção deve ser realizada a uma distância na qual o inspetor possa tocar o objeto, mas outros permitem o uso de câmeras com aproximação óptica. Um engenheiro devidamente treinado em patologia das estruturas deve realizar ou gerenciar a inspeção. A frequência recomendada desse tipo de inspeção é de cinco a dez anos, mas um intervalo mais longo pode ser adotado de acordo com fatores como a condição estrutural, capacidade de carga, deflexão. O relatório da inspeção deve fornecer os detalhes de todos os defeitos observados, uma avaliação da condição da estrutura e recomendações para novas inspeções e trabalhos de reparo. A extensão e gravidade dos defeitos devem ser descritos em detalhes suficientes para permitir que o engenheiro estime o custo de todos os trabalhos de reparo.

### **3.1.4 INSPEÇÃO EXTRAORDINÁRIA**

A Inspeção Extraordinária é solicitada para avaliar um dano estrutural excepcional, que tenha como causa o homem ou a natureza.

Dependendo do dano, o inspetor deverá avaliar se é necessário limitar as cargas de tráfego ou até mesmo interromper o tráfego. Em seguida, deverá avaliar as providências e serviços indispensáveis para a recuperação da obra e restabelecimento do tráfego bem como a necessidade ou não de uma Inspeção Especial.

A descrição detalhada do episódio que exigiu a Inspeção Extraordinária, bem como as providências dela derivadas e um documentário fotográfico deverão constar de um relatório.

### **3.1.5 INSPEÇÃO INTERMEDIÁRIA**

Inspeção recomendada para acompanhar a evolução de uma deficiência suspeitada ou já detectada (um leve recalque de fundação, um início de erosão, etc.).

A descrição minuciosa da deficiência já detectada ou suspeitada e de sua possível evolução, bem como as medidas necessárias deverão constar em um relatório específico, no qual se recomendará a que as inspeções continuem ou não.

A Inspeção Especial, mencionada no relatório da COST 345 (2007), pode ser relacionada tanto com a inspeção intermediária como

com a extraordinária. Este tipo de inspeção é realizado onde há necessidade de informações mais detalhadas. Pode envolver uma investigação de um defeito específico encontrado durante uma inspeção da estrutura ou de outras estruturas semelhantes. As inspeções também são realizadas em estruturas que necessitam de um acompanhamento regular: estruturas com restrições de tráfego ou que possuem uma carga anormalmente pesada. Essa inspeção pode também ser realizada devido a um evento incomum, que pode afetar o desempenho da estrutura como inundações, um deslizamento de terra, um acidente grave, um derramamento químico ou incêndio nas proximidades da estrutura. Embora a inspeção possa ser realizada em toda a estrutura, geralmente é realizada em algum componente ou elemento particular e, geralmente, envolve a tomada de medições no local e testes laboratoriais.

### 3.2 PLANEJAMENTO DAS INSPEÇÕES

O sucesso de uma inspeção está amplamente ligado ao seu planejamento.

Segundo a Norma DNIT (2004), os requisitos mínimos para desempenhar uma inspeção segura e completa são o planejamento e a programação adequada, atividades as quais deverão abordar os seguintes aspectos:

*O motivo da inspeção; O tipo da inspeção; O dimensionamento da equipe; Os equipamentos e as ferramentas; A existência de projetos e de relatórios de inspeções anteriores; O período do ano mais favorável à inspeção. (DNIT, 2004).*

O manual americano BIRM (2012), apresenta as seguintes atividades básicas para o planejamento das inspeções:

- Determinação do tipo de inspeção;
- Seleção da equipe de inspeção;
- Avaliação das atividades necessárias (por exemplo, ensaios não destrutivos, controle de tráfego, licenças, etc.);
- Estabelecimento de uma programação que inclua a duração de inspeção;
- Revisão dos projetos da ponte;
- Identificar os componentes e elementos;
- Desenvolver uma sequência de inspeção;
- Preparar e organizar as notas, formulários, e esboços;

- Organizar o controle de tráfego temporário;
- Rever as precauções de segurança;
- Organizar as ferramentas e equipamentos;
- Organizar as atividades especiais de subcontratação.

### 3.3 PROCEDIMENTO DAS INSPEÇÕES

Segundo o BIRM (2012), o primeiro passo no processo de inspeção é estabelecer a orientação do local e da ponte. Incluir as direções cartesianas, a direção do fluxo fluvial e a direção da estrada na orientação. Registrar também os membros da equipe de inspeção, a temperatura do ar, as condições climáticas, e o horário.

As inspeções podem envolver (COST 345, 2007):

- Inspeção visual da estrutura.
- Ensaios *in situ* e/ou amostragem e ensaios de laboratório.
- O uso de equipamentos de acesso.
- Gestão do tráfego.
- Avaliação de risco para os usuários da estrada e inspetores.
- Avaliação de risco da estrutura durante as inspeções de campo e testes.
- O preenchimento de formulários e/ou a produção de relatórios.

Os procedimentos relatados no Manual de Inspeções do DNIT, (2004) informam que a inspeção de uma ponte deve garantir o exame de todos os elementos estruturais. Deve possuir um documentário fotográfico abrangente e completo com um mínimo de seis fotos registrando as vistas superior, inferior, laterais e detalhes de apoios, articulações, juntas, etc. Além disso, os defeitos encontrados devem ser verificados e anotados para permitir avaliar suas causas. Se possível, a ponte deve ser observada durante a passagem de cargas pesadas, para que se possa verificar a existência de vibrações ou deformações excessivas. Pode ser necessário limpar algumas áreas da ponte, para possibilitar a verificação de trincas, corrosões ou outros defeitos.

#### 3.3.1 PROCEDIMENTOS PARTICULARES

Segundo o Manual do DNIT (2004), a inspeção deve incluir, mas não necessariamente se limitar nas observações a seguir:

### Geometria e Condições Viárias

Verificar o alinhamento da obra, assim como, a existência de deformações ou vibrações excessivas, se o tráfego flui livremente e em segurança e a existência de passeios para trânsito de pedestres.

### Acessos

Verificar o estado da pavimentação dos acessos, pois a existência de defeitos pode causar impactos indesejáveis de veículos na entrada da ponte.

Verificar se existe ou não placas de transição, o seu estado e funcionamento. Carece também se examinar as juntas entre os acessos e a ponte, assim como as saias de aterro, a drenagem e a ininterrupção das barreiras na rodovia e na ponte.

### Cursos d'água

Analisar se a seção de vazão disponível é suficiente, avaliando se detritos e matérias flutuantes podem escoar livremente durante as cheias e se existe manifestação ou indicativos de erosão.

### Encontros e fundações

Verificar, nas pontes com fundações diretas e superficiais, se existe evidências de erosões ou descalçamentos. Um exame apropriado apenas poderá ser executado em época de águas baixas. Nas fundações em estacas deve-se verificar o estado das estacas, especialmente no trecho de variação do nível d'água.

As paredes dos encontros devem ser verificadas para apurar a possível existência de trincas ocasionadas por assentamentos, desalinhamentos ou desaprumos provocados por pressões dos aterros de acesso. Irregularidades no concreto e corrosão de armaduras necessitam ser examinadas.

### Apoios Intermediários

Avaliar os pilares, maciços, parede ou isolados, assim como as vigas de contraentamento para apurar os sinais de degradação e corrosão de armaduras. Particularmente importantes e perigosos são as trincas e quebras de cantos nos topos dos pilares e a degradação do concreto e das armaduras nas suas bases.

### Aparelhos de Apoio

Analisar os aparelhos de apoio para verificar seu estado, seu funcionamento, se estão bem arranjados e alinhados e se podem mover-se livremente.

Aparelhos de apoio metálicos precisam estar sem ferrugem, bem lubrificadas e seus chumbadores devem estar em bom estado. Os aparelhos de apoio de elastômetro não podem estar achatados, com faces abauladas ou muito distorcidos.

### Superestrutura

Examinar irregularidades no concreto, como fissuras, deslocamentos, desagregações, infiltrações e eflorescências, verificando suas possíveis causas. Investigar a existência de cobrimentos insuficientes, de exposição de armaduras e de armaduras corroídas. Deve ser confirmada, também, a existência de drenos em número suficiente e localizados em pontos baixos da laje inferior.

### Pista de Rolamento

Apurar se proporciona um tráfego fluente e seguro, assim como, se está íntegra ou incompleta, desgastada e trincada, se as declividades e a drenagem são suficientes, se há acúmulo de água na sua superfície e se a pista é escorregadia.

A Figura 8 mostra um exemplo de irregularidade da pista de rolamento.



Figura 8 – Irregularidades da Pista de Rolamento (DNIT, 2004).

### Juntas de Dilatação

Verificar seu tipo, sua integridade e capacidade de vedação e se funciona livremente, não estando prejudicadas por acúmulo de detritos. Necessita-se medir suas aberturas, concomitantemente com o registro da temperatura ambiente.

### Barreiras Guarda-Corpos

Verificar se as barreiras são as padronizadas, tipo New Jersey, ou se são similares e proporcionam proteção satisfatória; registrar a existência de anomalias no alinhamento, no estado do concreto e no cobrimento, assim como o estado das armaduras.

### Sinalização

Averiguar e anotar a existência ou não de sinalização na entrada da ponte e de sinalização da pista.

### Instalações e Utilidades Públicas

Constatar se os dutos estão corretamente fixados, se existe vazamentos de água ou gás e se os dutos de eletricidade estão bem isolados.

## 3.4 EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO

Para que a inspeção seja completa e confiável há necessidade de serem utilizados equipamentos auxiliares que, basicamente, se alinham em dois grupos:

### 3.4.1 EQUIPAMENTOS COMUNS

- Equipamentos de Limpeza
  - Escovas, vassouras, palhas-de-aço, lixas.
- Equipamentos de Inspeção
  - Canivete, facão, martelo, chave de fenda, cinto suporte de ferramentas.
- Equipamentos de Melhoria de Visão
  - Binóculo, luneta, lente com iluminação, espelho de inspeção, lanterna, líquido penetrante.
- Equipamentos de Medição

- Trena, paquímetro, fissurômetro, fio de prumo, nível de pedreiro, termômetro.
- Equipamentos de Documentação
  - Prancheta, fichas cadastrais, lápis, borracha, esquadros, giz, câmera fotográfica.
- Equipamentos Complementares
  - Estojo de primeiros socorros, repelentes e materiais de higiene pessoal.

### **3.4.2 EQUIPAMENTOS ESPECIAIS E ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS**

Os equipamentos citados a seguir não são, geralmente, utilizados em inspeções rotineiras e nem em pontes de pequeno porte; a necessidade de alguns deles poderá implicar em contratações com empresas especializadas.

Algumas técnicas avançadas de inspeção, utilizadas como complemento da inspeção visual podem envolver diferentes testes, que devem ser realizados por profissionais devidamente treinados.

#### Pacômetro

O pacômetro é um aparelho que utiliza ondas magnéticas para determinar a posição das armaduras. Serve para, por exemplo, detectar regiões com cobrimentos inadequados, regiões propícias à deterioração do concreto por corrosão das armaduras.

Esse aparelho sofre interferência de armaduras muito próximas umas das outras, podendo fornecer resultados imprecisos nesses casos.

#### Medidor de Potencial de Corrosão

O potencial de corrosão do aço pode ser medido pela diferença de potencial entre o aço e um eletrodo de referência. Com a utilização de aparelhos que medem esse potencial, pode-se identificar se a área examinada está com corrosão ou não.

De acordo com a ASTM C 876 (2013), a probabilidade de ocorrência de corrosão baseada nos valores de potencial, conforme indica a Tabela 1.

#### Esclerômetro

O aparelho de esclerômetro consiste basicamente em um mecanismo de massa mola que realiza um impacto na estrutura e mede-se o retorno dessa massa, obtendo-se um índice esclerométrico que pode

ser relacionado com a dureza superficial do material e correlacionado com a sua resistência.

Desta forma pode-se verificar a uniformidade da resistência dentre os diferentes elementos estruturais de uma obra.

Tabela 1 - Probabilidade de ocorrer corrosão da armadura

Potencial de corrosão relativo ao eletrodo de referência de cobre-sulfato de cobre (mV)	Probabilidade de corrosão (%)
$E_{\text{corr}} < -350$	90
$-200 > E_{\text{corr}} > -350$	Incerteza
$E_{\text{corr}} > -200$	10

### Ultrassom

O método de avaliação de propagação de onda ultrassônica consiste em medir o tempo de percurso para que esta onda atravesse o concreto (NBR 8802/94).

Este método possibilita a detecção de áreas internas fissuradas e de concreto deteriorado, pois a velocidade das ondas de ultrassom depende do meio que se propagam, sendo reduzidas em regiões fissuradas.

A Tabela 2 abaixo mostra, como referência, a relação da velocidade da onda ultrassônica em relação à qualidade do concreto.

### Profundidade de Carbonatação

A carbonatação reduz a proteção do aço contra a corrosão e é ocasionada pela reação do óxido de cálcio do concreto com dióxido de carbono. A profundidade da carbonatação pode ser medida com a exposição do concreto a soluções de fenolftaleína, pois concretos sem carbonatação mudam de cor enquanto que concretos com carbonatação permanecem com a mesma cor.

Além desse, ainda são utilizados:

- Equipamentos de Levantamentos Topográficos
- Equipamentos de Inspeção Submersa
- Equipamentos de Jateamento de Ar, Água e Areia.

Tabela 2 - Velocidade da onda ultrassônica X Qualidade do concreto (NBR 8802, 2013)

Velocidade (m/s)	Qualidade
> 4500	Excelente
3500 – 4500	Boa
3000 – 3500	Duvidosa
2000 – 3000	Pobre
< 2000	Muito pobre

### 3.4.3 MÉTODOS DE ACESSO

A finalidade dos métodos de acesso é garantir que o Inspetor possa alcançar com segurança uma área a ser inspecionada e com uma proximidade tal que permita que esta área possa ser tocada com as mãos.

Os dois principais meios de alcançar áreas de difícil acesso de uma ponte são através de equipamentos de acesso e veículos de acesso.

#### Equipamentos de Acesso

Equipamentos comuns de acesso incluem escadas, andaimes apoiados ou suspensos, plataformas apoiadas em torres tubulares e barcos ou balsas.

#### Veículos de Acesso

Os veículos especiais de acesso proporcionam um ligeiro e seguro acesso a todas as áreas de difícil alcance de uma ponte, entretanto dependem de sua disponibilidade e da real necessidade de seu emprego, tendo em vista que seu aluguel possui um alto custo. Os veículos de acesso são quase imprescindíveis nas pontes de grandes vãos e de altura elevada, e apropriados quando um grande número de obras de um mesmo trecho deve ser inspecionado.

Dentre os veículos especiais de acesso estão os caminhões tipo Munck que possuem braços articulados e cestas, e os "snoopers", veículos com braços articulados e cestas, que permitem alcançar toda a parte

inferior do estrado ou, pelo menos, grande parte dela; os caminhões tipo Munck, Figura 9, em geral, não têm alcance para inspecionar toda a parte inferior do estrado, mas apenas suas faces laterais e trechos contíguos da parte inferior.



Figura 9 – Caminhão do tipo Munck, com braços articulados (DNIT, 2004).

### 3.5 CAPACITAÇÃO DOS INSPETORES

Em um sistema de gerenciamento de OAE, o fator humano é o elo mais fraco, mais suscetível a erros. Desta forma ressalta-se a importância de contar com profissionais qualificados.

Todos os países envolvidos na COST 345 (2007) possuem padrões para a qualificação e formação dos inspetores. As diversas abordagens têm alguns elementos comuns, porém possuem diferentes requisitos em relação aos conhecimentos e experiência necessários para os inspetores: por exemplo, alguns países exigem que o inspetor tenha qualificação formal, enquanto outros exigem apenas que o inspetor tenha alguma formação ou experiência prática relevante.

A ação COST 345 (2007) defende que para maior eficiência e eficácia, um inspetor deve ter conhecimento de ciência dos materiais, comportamento estrutural e das práticas e técnicas de construção. Assim, deveriam existir cursos de formação e educação de inspetores de forma contínua e que abrangessem:

- O uso de novos materiais para a construção e reparo;

- O uso de novas formas estruturais - em particular, as suas vulnerabilidades;
- O uso de técnicas de investigação mais eficazes e confiáveis;
- A alteração na carga de tráfego em relação ao tempo;
- As mudanças no ambiente - particularmente aquelas que possam afetar a segurança e a durabilidade da estrutura;
- A identificação de novos defeitos e/ou um aumento súbito na incidência de defeitos específicos.

De acordo com a Norma do DNIT 010/2004, as Inspeções Cadastrais, Rotineiras e Intermediárias devem ser realizadas por Inspetores assessorados, se necessário, por técnicos de nível médio. Já as Inspeções Extraordinárias e Especiais devem ser realizadas por Inspetores Seniores auxiliados, se preciso, por Consultores e Auxiliares Técnicos.

No Brasil, o Inspetor será, sempre, um Engenheiro Diplomado, registrado no CREA; dependendo das responsabilidades que lhe serão atribuídas, deverão ser comprovados os dados presentes na Tabela 3. Essa tabela mostra a capacitação necessária para cada obra.

Tabela 3 – Atribuições do Inspetor (DNIT, 2004)

<b>Inspetor</b>	<b>Inspetor sênior</b>
<b>Para inspecionar uma única obra de comprimento igual ou inferior a duzentos metros e que não inclui nenhuma estrutura não convencional.</b>	Para inspecionar uma estrutura especial, ou de comprimento superior a duzentos metros, ou supervisionar a inspeção de um conjunto de obras.
<b>Mínimo de cinco anos de experiência em projeto de pontes.</b>	Mínimo de cinco anos de experiência em projeto, execução, recuperação, reforço e reabilitação de pontes.
<b>Mínimo de cinco anos de experiência em inspeção de pontes.</b>	Mínimo de dez anos de experiência em inspeção de pontes.
<b>Perfeito conhecimento do Manual de Inspeção de Pontes.</b>	Perfeito conhecimento do Manual de Inspeção de Pontes.

A capacitação necessária para os Auxiliares Técnicos, segundo a Norma do DNIT 010/2004, é:

- Ter completado o segundo grau;

- Possuir bom nível de inteligência e vivacidade, assim como boas condições físicas - podendo subir e descer em estruturas elevadas, respeitando as normas vigentes de segurança do trabalho;
- Ter habilidade para desenhar a mão livre esquemas de obras, apoios etc., com as respeitantes dimensões;
- Possuir habilidade para ler os desenhos do projeto estrutural, verificando se a obra foi construída de acordo com os desenhos;
- Ser apto para tirar fotografias e gravar imagens digitalizadas;
- Saber utilizar instrumentos de medidas e de visualização, tais como réguas, trenas, paquímetros, réguas comparadoras, termômetros, máquinas fotográficas, binóculos etc.;
- Possuir perfeito conhecimento do Manual de Inspeção de Pontes.

### 3.6 RESPONSABILIDADES E DEVERES DO INSPETOR DE PONTES

De acordo com o Manual de Inspeções do DNIT (2004), as responsabilidades do inspetor de pontes são:

- Registrar detalhadamente e fielmente os itens que carecem de reparos ou serviços de manutenção.
- Zelar pelo patrimônio público.
- Garantir a confiança do usuário e conservar a segurança e a funcionalidade das obras.

O manual também apresenta os seguintes deveres do inspetor de pontes:

- Planejar as Inspeções.
- Realizar as Inspeções.
- Preparar os Relatórios.
- Identificar os itens que necessitam de reparos e quantificar seus custos.

O Bridge Inspector's Reference Manual (2012) – BIRM -atribui algumas responsabilidades aos inspetores, como:

- Realizar inspeções minuciosas identificando as condições e os defeitos da ponte.

- Elaborar relatórios que documentem os defeitos e alerte os supervisores e engenheiros de quaisquer conclusões que podem afetar a segurança do usuário da estrada ou a integridade da estrutura.
- Estar continuamente atento para pequenos defeitos que podem se agravar e necessitar de reparos caros.
- Reconhecer os componentes da estrutura que necessitam de reparo, a fim de manter a segurança da ponte.
- Recomendar o fechamento de uma ponte, se necessário.

### 3.7 APLICAÇÃO DAS INFORMAÇÕES COLETADAS

Os dados obtidos a partir de uma inspeção são utilizados para determinar a próxima ação a ser tomada: esta pode ser uma ação imediata ou que se segue a partir de uma avaliação da condição da estrutura.

É importante que os trabalhos de reparo sejam regularmente inspecionados e avaliados, e os resultados gravados de uma forma sistemática. Estes dados podem ser utilizados para avaliar a eficácia do trabalho de reparo realizado em um local particular, e comparar a relação custo, eficácia e durabilidade dos diferentes trabalhos realizados em outros locais com diferentes condições de serviço.

Os dados sobre a taxa de deterioração da condição de uma estrutura, ou dos seus componentes e elementos, são essenciais para decisões sobre o tipo e intervalo das atividades de manutenção e reparo. O intervalo pode ser baseado em uma análise de custo-benefício. Tais dados podem ser utilizados para ajudar a priorizar os trabalhos de manutenção em relação a gama de estruturas e também podem ser utilizados para desenvolver modelos novos ou aprimorados para prever a taxa de deterioração e o custo de vida.

#### 3.7.1 AVALIAÇÃO DO ESTADO DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

A avaliação do estado é realizada para fornecer informações sobre:

- A condição geral de uma estrutura e/ou dos seus componentes ou elementos;
- A intensidade e extensão dos defeitos e as zonas de deterioração - e também sua natureza e causa;
- O efeito dos defeitos e áreas de deterioração na estabilidade e manutenção da estrutura - este último

abrange, por exemplo, estética, durabilidade e segurança no trânsito.

Os principais objetivos de uma avaliação são:

- Identificar os processos de deterioração;
- Fornecer uma indicação da condição de uma estrutura e/ou dos seus componentes ou elementos;
- Identificar quais trabalhos são necessários, tais como inspeção, manutenção e/ou reparo - e também o custo provável e tempo de tais obras;
- Possibilitar a classificação de uma estrutura de acordo com a necessidade de novos trabalhos;
- Proporcionar uma indicação da condição de um grupo de estruturas a partir de uma série de avaliações;
- Otimizar as despesas com novas obras.

Para o DNIT (2004), a avaliação é subjetiva, mas o inspetor deve seguir recomendações para a emissão da nota de um elemento estrutural, de acordo com a Tabela 4, especificando as características deste elemento. Ao final é atribuída uma nota para a ponte referente à menor nota conferida aos elementos da ponte.

No Instituto ZAG da Eslovênia, a avaliação da condição de uma ponte/ou dos seus componentes segue a equação abaixo (COST 345, 2007):

$$R = \sum V_D = \sum B_i \cdot K_{1i} \cdot K_{2i} \cdot K_{3i} \cdot K_{4i} \quad (1)$$

em que:

$V_D$  - Valor de classificação para o tipo de dano.

$B_i$  - o valor deste fator reflete o efeito potencial de um tipo particular de dano (i) sobre a segurança e / ou a durabilidade do elemento estrutural afetado. Os valores de  $B_i$  variam de 1 a 5.

$K_{1i}$  - este fator define a importância do componente ou membro estrutural para a segurança de toda a estrutura. Por exemplo, uma trinca na calçada é menos importante do que uma trinca na viga. Os valores de  $K_1$  são 0,3, 0,7 ou 1,0.

$K_{2i}$  - o valor deste fator, que varia de 0,4 a 1, reflete a intensidade do dano, sendo classificada em um de quatro tipos: I –leve (0,4), II- médio (0,6), III – grave (0,8), IV - muito grave (1,0). Normalmente, o valor do fator é atribuído a um tipo particular de dano.

$K_{3i}$  - o valor deste fator, que varia de 0,5 a 1 descreve a extensão dos danos principal, sendo classificada de acordo com a percentagem dos

elementos ou a área da superfície afetada como elementos individuais (0,5), vários elementos (0,8), ou sobre a maior parte da ponte (1.0). Normalmente, o valor do fator é atribuído a um ou mais componentes da ponte ou a toda a ponte.

Tabela 4 – Descrição das notas de avaliação dos elementos estruturais (DNIT, 2004)

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

$K_{4i}$  - o valor desse fator reflete a urgência de um trabalho de intervenção: os valores variam entre 0 e 10 (COST 345, 2007). O valor depende do tipo de estrutura, do risco e consequências de um possível colapso da ponte ou de partes dela. Os valores utilizados são:

1 - As medidas corretivas não possuem caráter urgente, pois o dano não afeta a segurança, utilidade ou durabilidade da estrutura;

3 - Medidas corretivas devem ser realizadas num período inferior a cinco anos;

5 - Medidas corretivas devem ser realizadas imediatamente;

10 - O dano afeta seriamente a segurança da ponte, estando em risco de um colapso.

Com o valor de R pode-se classificar a ponte de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 – Sistema de classificação utilizado na Eslovênia (COST 345, 2007).

Classe	Descrição	R
1	Critica	>20
2	Ruim	14-22
3	Satisfatória	8-17
4	Boa	3-12
5	Muito Boa	0-5

Portanto dois inspetores que avaliem uma mesma ponte numa mesma época poderão classificá-las com índices diferentes. O método utilizado na Eslovênia utiliza parâmetros mais quantitativos, como o coeficiente  $K_{1i}$ , que avalia a extensão do dano, portanto diminui a dependência de fatores humanos que possibilitem avaliações distintas.

Com a utilização do coeficiente  $K_{3i}$ , esse último método, diferentemente do método do DNIT, avalia o elemento estrutural em relação a sua importância para a segurança total da estrutura, dando maior importância para elementos que possam levar ao colapso da estrutura.

O método do DNIT é mais simples, deixando a avaliação da ponte com maior influência dos critérios utilizados pelo inspetor, sendo que somente um valor é atribuído para cada elemento estrutural e a nota final é o menor dentre esses valores. Já o método esloveno utiliza cinco

coeficientes para cada dano, multiplicando-os e posteriormente somando esses resultados para atribuir a nota final da ponte.

O Instituto ZAG utiliza o software e-Bridge que possibilita o armazenamento das principais características técnicas e do histórico de inspeções de pontes, de uma forma simples e otimizada. O instituto também faz uso de uma metodologia que utiliza os dados de pesagem em movimento aliados com os dados do software. Com base nas inspeções obtêm-se índices de deterioração da estrutura, que são utilizados para melhor estimar a real capacidade resistente da estrutura, de forma similar ao apresentado nos apêndices no item Apêndice A -.

O software apresenta uma lista de A a H para ser preenchida com a descrição e quantificação dos danos encontrados. A Figura 10 apresenta a tela do e-Bridge na qual se é possível preencher as listas de A a H.

The screenshot shows the 'new damage' entry screen in the e-Bridge software. The interface includes the following elements:

- Header:** 'HOME STRUCTURES HELP ADMIN' and a red 'new damage' banner.
- Description of damage:** A text area with a 'Save & copy' button.
- A: structural member:** A dropdown menu with the option '-- no structural member'.
- A1: part or location:** A dropdown menu.
- B: damage:** A dropdown menu.
- C: area within the structure:** A dropdown menu.
- D: location of damage:** Three dropdown menus for 'longitudinal direction:', 'transverse direction:', and 'vertical direction:'.
- E: degree of damage:** A dropdown menu.
- F: extension of damage:** A dropdown menu.
- G: proposed measures:** A dropdown menu with options '-- no proposed measures' and '-- no findings'.
- H: findings comment:** A text area.
- requested measures:** A dropdown menu with the value '102 - Regular monitoring; Axxxx' and an 'Add' button.
- xxxxx:** A text input field.
- Bottom right:** Radio button options for damage measures:
  - B - 0,00
  - K1 - 0,00
  - K2 - 0,00
  - I - 0,40
  - II - 0,60
  - III - 0,80
  - IV - 1,00
  - Kd = 0,00
  - K3 - 0,00
  - A - 0,50
  - B - 0,80
  - C - 1,00
  - K4 - 1,00
  - 3,00
  - 5,00
  - 10,00
- Buttons:** 'Save', 'Cancel', and 'Add'.

Figura 10 – e-Bridge (e-Bridge)

Cada um desses itens apresenta uma lista de opções, já definidas, para serem selecionadas.

A. Elemento estrutural;

- A1. Parte ou a localização do elemento;  
 B. Dano;  
 C. Local da estrutura, onde o dano se localiza, por exemplo, em qual vão da estrutura;  
 D. Local do dano, por exemplo, distância do início do vão;  
 E. Grau do dano;  
 F. Extensão do dano;  
 G. Proposta de reparo.  
 H. Observações, por exemplo, ampliação do dano.

Tendo em vista que os índices B e  $K_1$  são definidos automaticamente quando se preenche a lista A e B, isso facilita a uniformidade das avaliações de diferentes inspetores.

O Instituto ZAG segue uma recomendação para a avaliação do índice K2, intensidade do dano, mostrada na Tabela 6.

Tabela 6 – Índice K2

Dano	Intensidade do Dano			
	I	II	III	IV
<b>Fissuras (Concreto armado e protendido)</b>	<0,2 mm	0,2 - <0,4 mm	0,4 - ≤0,6 mm	> 0,6 mm
<b>Fissuras (Concreto)</b>	< 1 mm	1 – 10 mm	< 20 mm	> 20 mm
<b>Baixo cobrimento [c]</b>	$c \leq \frac{3}{4} c_{req}$	$c \leq \frac{1}{3} c_{req}$	$10 c < \frac{1}{3} c_{req}$ , estribos aparentes	$c < \frac{1}{3} c_{req}$ , armadura principal aparente.
<b>Profundidade de carbonatação [pc]</b>	$pc \leq \frac{1}{3} c$	$pc \leq \frac{2}{3} c$	pc na mesma profundidade dos estribos	pc na mesma profundidade da armadura principal
<b>Desagregação [d]</b>	$d \leq \frac{1}{3}$ Cobrimento	$d \leq \frac{2}{3}$ Cobrimento	d – de mesma profundidade das armaduras	d – profundidade maior que a das armaduras
<b>Corrosão das armaduras</b>	Corrosão superficial, até 5% da seção.	Corrosão até 10% da seção.	Corrosão entre 10% e 20% da seção	Corrosão > 20% da seção

#### 4. METODOLOGIA

Para a realização desse trabalho, inicialmente definiu-se o trecho a ser estudado, no qual as pontes de concreto armado seriam avaliadas, com o objetivo de se selecionar a que estivesse mais danificada e que fosse viável de se inspecionar detalhadamente sem a necessidade de equipamentos de acesso especiais. Em seguida realizou-se uma inspeção detalhada da ponte selecionada e com as informações dessa inspeção avaliou-se a ponte pela utilização do método do DNIT e da Eslovênia para então comparar a metodologia e os resultados de ambos os métodos.

O fluxograma mostrado pela Figura 11 apresenta a metodologia utilizada.

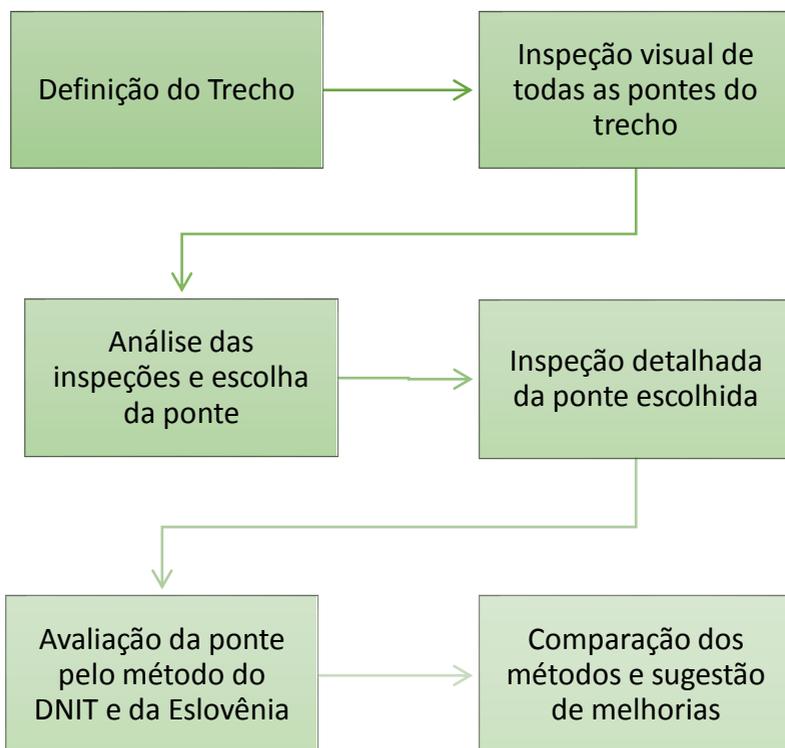


Figura 11 - Fluxograma da metodologia

#### 4.1 DEFINIÇÃO DO TRECHO E PONTE UTILIZADA COMO ESTUDO DE CASO

Para a definição do trecho foi necessário verificar uma rodovia que fosse federal, sem concessão e que tivesse um fluxo intenso de veículos pesados, além de possuir várias pontes ou viadutos.

Inicialmente foram identificados os cinco principais corredores logísticos e selecionado o corredor mais representativo, levando em conta os quesitos (LABTRANS, 2014):

- Fluxo de veículos pesados;
- Fluxo das Autorizações Especiais de Trânsito – AETs;
- Presença de Portos;
- Dados do Comércio Exterior – Importação, exportação e total;
- Dados quantitativos e qualitativos sobre a produção agrícola;
- Postos de contagem e de pesagem.

Estes cinco principais corredores logísticos se encontram na BR 101 Espírito Santo (Entr. ES 245(A)/248 (Linhares) – Carapina), ilustrado na Figura 12; BR 101 Espírito Santo (Entr. BR 262(B) – Div. ES/RJ), apresentado na Figura 13; BR 381 Minas Gerais (Entr. BR 458/MG 232 - Entr. BR 262(A)), apresentado na Figura 14; BR 101 Bahia e Sergipe (Fim pista dupla/Início obras duplicação - Entr. BR 110(A)), ilustrado na Figura 15 e BR 153 Goiás e Tocantins (Entr. TO 483 (Figueirópolis) - Entr. BR 080(A)/GO 237 (Uruaçu)), ilustrado na Figura 16.

O trecho selecionado localiza-se na BR-153, no estado de Goiás, entre os quilômetros 197 e 44, como mostrado na Figura 16. O trecho possui oito pontes, com uma média diária de veículos de aproximadamente 4800 veículos dos quais 3500 veículos pesados.

O estado de Goiás apresenta um clima predominantemente tropical, com verão úmido, nos meses de dezembro a março, e inverno seco, predominante no período de junho a agosto. A temperatura média varia entre 18°C e 26°C, com amplitude térmica significativa (GOVERNO DE GOIÁS, 2013).



Figura 12 - BR 101 Espírito Santo (LABTRANS, 2014)

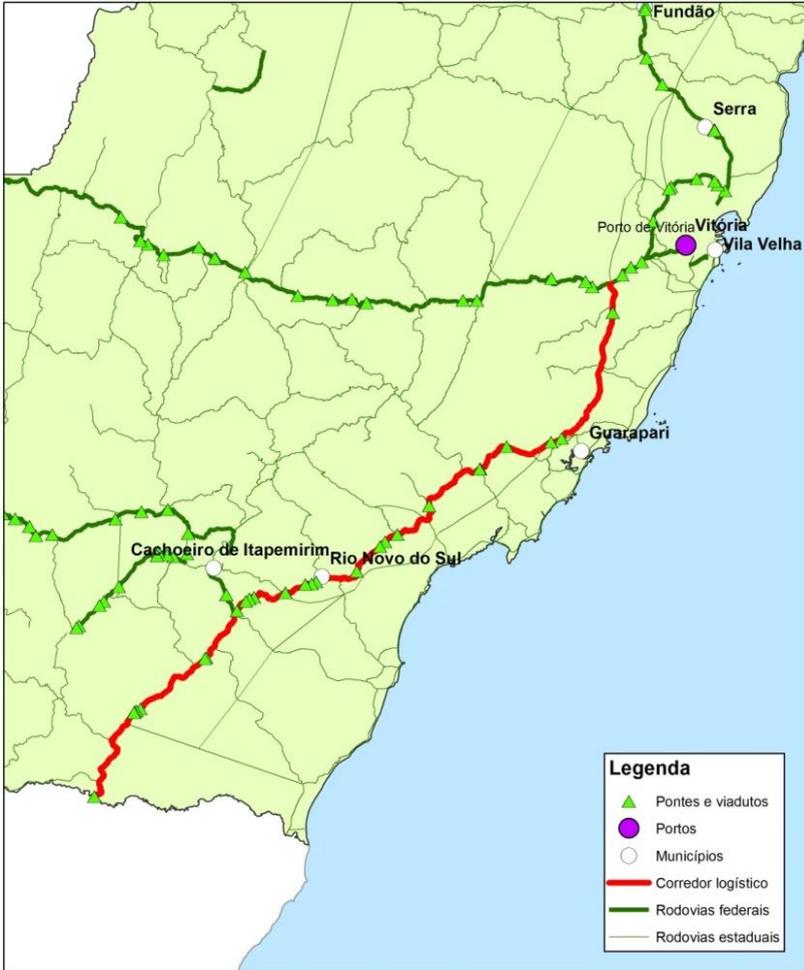


Figura 13 - BR 101 Espírito Santo (LABTRANS, 2014)

Inicialmente, as oito pontes foram inspecionadas visualmente anotando-se algumas informações como comprimento do vão, características estruturais, número de vigas, pilares e vãos, assim como as principais manifestações patológicas encontradas. Para isso utilizou-se uma trena metálica, prancheta, papel e caneta, assim como uma câmera fotográfica para registrar os defeitos encontrados assim como as características estruturais da ponte.

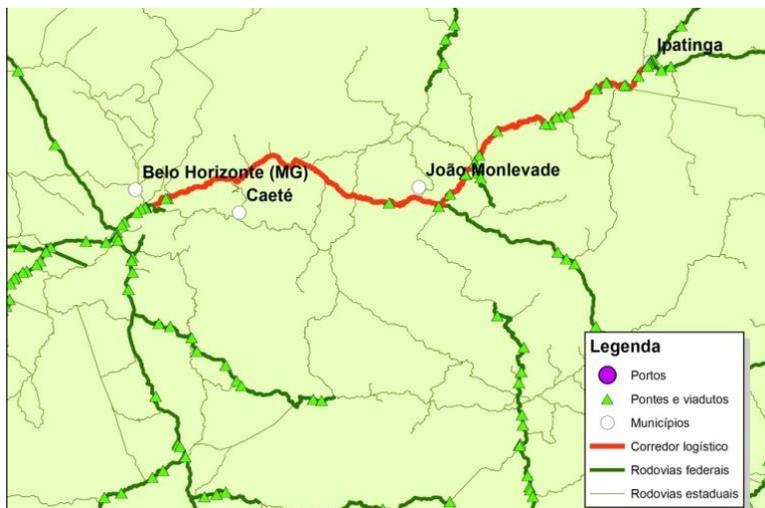


Figura 14 - BR 381 Minas Gerais (LABTRANS, 2014)



Figura 15 - BR 101 Bahia e Sergipe (LABTRANS, 2014)

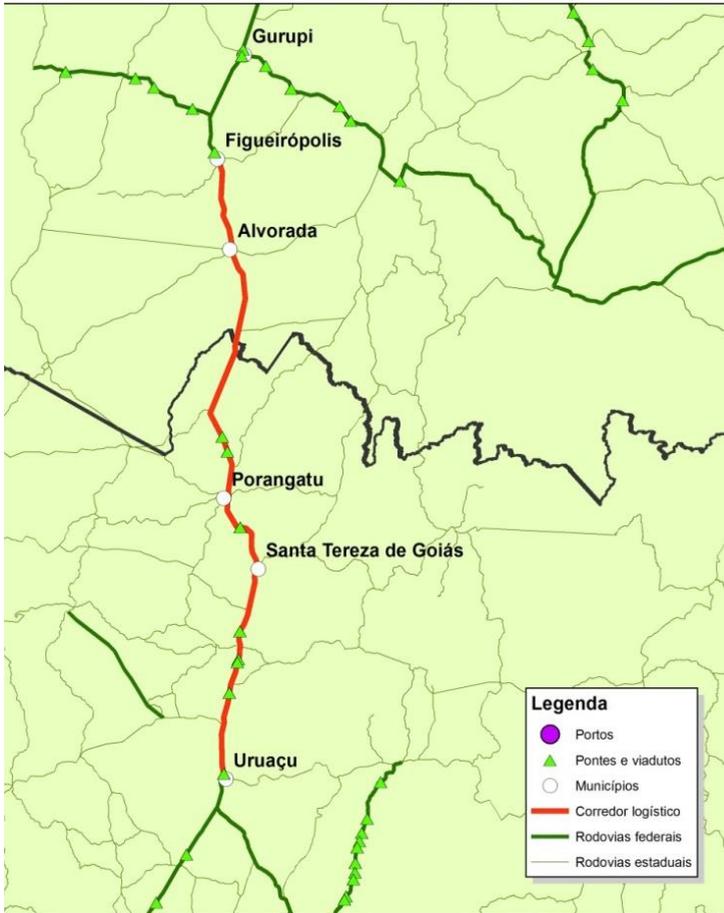


Figura 16 - BR 153 Goiás e Tocantins (LABTRANS, 2014)

Para a realização desta inspeção levou-se praticamente um dia, percorrendo o trecho e parando em cada uma das pontes para a realização da inspeção visual.

Informações importantes como facilidade de acesso e de realização de uma inspeção detalhada com a realização de ensaios, sem a necessidade de equipamentos de acesso muito caros, como caminhão Munck também foram anotadas.

A Tabela 7 apresenta as pontes inspecionadas, iniciando-se na ponte mais próxima a cidade de Uruaçu e seguindo o sentido norte da rodovia. Mais detalhes sobre as pontes no Apêndice B -.

Tabela 7 – Pontes Inspecionadas

<b>Km - Rio/Córrego</b>	<b>Extensão Total (m)</b>	<b>Km da rodovia</b>	<b>Foto</b>
<b>Passa Três</b>	104,69	197	
<b>Mato Grosso</b>	20,84	162	
<b>Vai e Vem</b>	28,86	148	
<b>Itingujada</b>	28,83	147	

Km - Rio/Córrego	Extensão Total (m)	Km da rodovia	Foto
<b>Lambari</b>	22,67	135	
<b>Ouro</b>	99,58	86	
<b>Funil</b>	30,7	50	
<b>Cana-Brava</b>	60,85	44	

Selecionou-se a Ponte sobre o Rio Lambari, observada na Figura 17, para a realização da continuação dos estudos. Essa ponte apresenta um relativo fácil acesso, por não ser muito alta, não possuir uma mata fechada, que dificultasse a aproximação e visualização dos elementos da estrutura, por ser possível chegar à beira do rio e ter acesso aos pilares sem a necessidade da utilização de equipamentos especiais.



Figura 17 - Ponte sobre o Rio Lambari - Vista superior

Além dessas características, essa ponte foi a que apresentou mais defeitos como corrosão de armadura, presença de armaduras expostas, baixo cobrimento e deterioração do concreto.

Um croqui aproximado do esquema estrutural da ponte esta apresentado nas figuras 19 e 20.

#### 4.2 INSPEÇÃO DETALHADA DA PONTE ESCOLHIDA

Com a ponte selecionada, pode-se programar a inspeção e os ensaios a serem realizados.

Em seguida, realizou-se uma viagem para a ponte selecionada e a inspeção detalhada foi realizada em quatro dias.

Foram realizadas medidas utilizando uma trena metálica e uma trena a laser, assim como os ensaios com o pacômetro, esclerômetro, potencial de corrosão e ultrassom, além de serem anotados e visualizados os defeitos encontrados e realizar o ensaio de profundidade de carbonatação. Os aparelhos utilizados para a realização desses ensaios foram estão apresentados na Figura 18.



Figura 18 - Canin+, Esclerômetro, Ultrassom e Profometer

O ensaio de pacometria foi realizado antes do ensaio de esclerometria e de ultrassom para evitar a influência das barras de aço na realização desses ensaios.

Várias fotografias foram tiradas, anotando-se numa folha o número da fotografia e o que ela representava, por exemplo, a vista lateral da ponte do lado oeste ou armadura exposta na viga V1 no lado Norte. Junto com essas informações anotaram-se os danos encontrados e suas dimensões como comprimento e abertura de fissuras e área de exposição de armaduras.

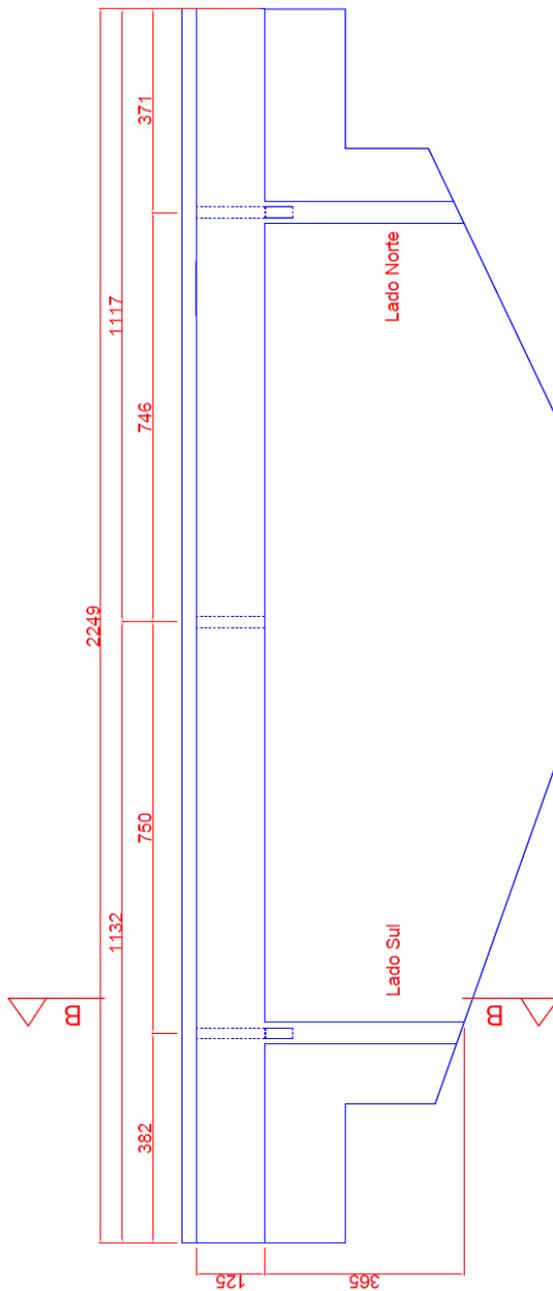


Figura 19 - Vista lateral

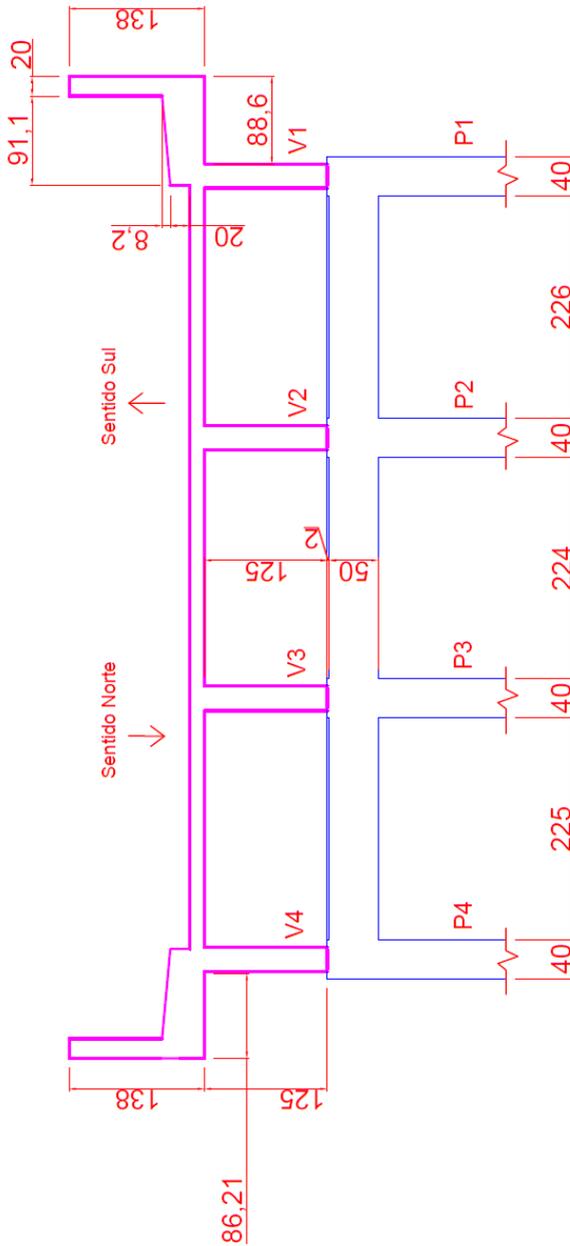


Figura 20 - Corte transversal

#### 4.2.1 DETECÇÃO DO COBRIMENTO DAS ARMADURAS

O ensaio de pacometria foi realizado com intuito de se verificar a presença de armadura e com isso obter o cobrimento. Para tanto, utilizou-se o pacômetro *Profometer 5+* da PROCEQ. Na Figura 21 pode ser visualizado o ensaio sendo realizado.

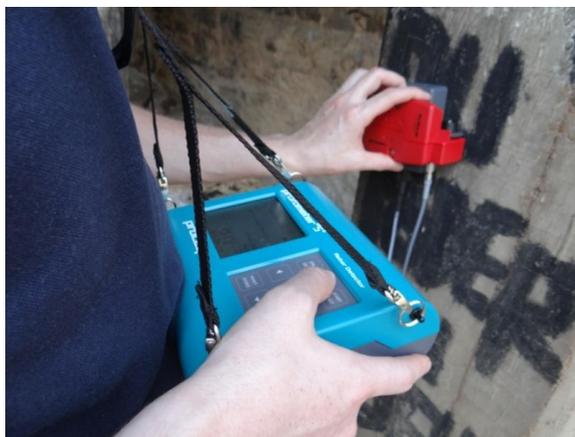


Figura 21 - Ensaio de pacometria

Esse ensaio foi realizado em todos os pilares da estrutura, na viga V1, lado sul e na laje do lado norte, entre as vigas V3 e V4. Para os pilares as leituras foram realizadas aproximadamente a 1,50 m de altura do solo.

#### 4.2.2 POTENCIAL DE CORROSÃO

Com o intuito de verificar a possibilidade de corrosão na armadura da infra e da superestrutura, realizaram-se ensaios para medir o potencial de corrosão, utilizando-se o equipamento *Canin+* da PROCEQ e seguindo os parâmetros da ASTM C876-09 (2013).

O ensaio de potencial de corrosão para a infraestrutura foi realizado no pilar P4S, utilizando-se a sonda de roda. A Figura 22 ilustra a realização desse ensaio.



Figura 22 - Ensaio de potencial de corrosão utilizando sonda de roda

Para a superestrutura, o potencial de corrosão foi realizado na viga V1, lado sul, tanto com a sonda *de roda* quanto com a sonda pontual. A Figura 23 mostra a realização do ensaio.



Figura 23 - Ensaio de potencial de corrosão utilizando sonda pontual

Para a realização do ensaio utilizando a sonda de roda, foi traçada uma malha 15x15 cm numa área total de 90x90 cm na face lateral da viga V1 na região em balanço do lado Sul. Nessa região foram obtidas 36 leituras de potencial de corrosão. Além das leituras nessa malha, a sonda de roda foi utilizada na face inferior da viga.

Na face lateral da viga V1 na região em balanço do lado sul, também se realizou o ensaio com a sonda pontual.

### 4.2.3 ESCLEROMETRIA

Para avaliar a uniformidade do concreto na infra e superestrutura, foram realizados ensaios de esclerometria nos pilares e vigas da ponte. Esses ensaios seguiram as exigências da NBR 7584 (ABNT, 2012). Os ensaios foram realizados em todos os pilares da estrutura, na viga de travamento dos pilares, no lado sul, na longarina V1, na metade do balanço e próximo ao pilar do lado sul, na longarina V2, na metade do balanço, do lado sul, na longarina V4, na metade do balanço do lado norte, na laje em balanço do lado sul entre V1 e V2 e entre V2 e V3 e na laje em balanço do lado norte entre V2 e V3.

### 4.2.4 ULTRASSOM

A Figura 24 mostra a realização do ensaio de Ultrassom em um pilar de concreto. Para esse ensaio não foi necessário considerar a interferência das barras de aço, pois antes do ultrassom foi utilizado o pacômetro para detecção de armaduras, portanto sabendo-se a posição das armaduras pode-se realizar o ensaio numa posição que essas não interferissem. Nas vigas e pilares o ensaio foi realizado de forma direta e na laje de forma indireta.



Figura 24 - Ensaio de ultrassom

Esses ensaios seguiram as exigências da NBR 8802 (ABNT, 2013).

Esse ensaio foi realizado, no lado sul, nos pilares P1, P3 e P4 do lado norte - o pilar P2 apresentava uma superfície muito irregular - na longarina V1 e na laje entre V1 e V2. No lado norte o ensaio foi feito em todos os pilares e na longarina V1.

#### **4.2.5 CARBONATAÇÃO**

Para verificar a profundidade de carbonatação do concreto da infraestrutura foram realizados ensaios nos pilares P1, lado sul e norte. Já para a superestrutura, o ensaio de carbonatação foi realizado na viga V1, tanto do lado Norte quanto do lado Sul.

### **4.3 AVALIAÇÃO DA PONTE POR AMBOS OS MÉTODOS**

Para a realização da avaliação pelo método do DNIT, seguiram-se as recomendações e metodologia do Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (2004) do DNIT. Já para a avaliação de acordo com a metodologia utilizada pelo ZAG, realizou-se um intercâmbio, de três meses, em Liubliana, Eslovênia, para aprender, junto ao instituto ZAG, a efetuar essa avaliação seguindo sua metodologia.

## 5. ESTUDO DE CASO

### 5.1 INSPEÇÃO DETALHADA DA PONTE SELECIONADA

Os resultados da inspeção detalhada são apresentados a seguir.

#### 5.1.1 LAJE:

Nas lajes foram encontrados nichos de concretagem com profundidade pequena, inferior ao cobrimento dos estribos, vazamento de água através de fissura, podendo facilitar corrosão das armaduras, presença de umidade e desagregação do concreto no nível das armaduras, cobrimento insuficiente, possibilitando a visualização das armaduras, esses defeitos encontrados podem ser visualizados nas figuras 25 a 27.



Figura 25 - Nicho de concretagem na laje

A presença de desagregação do concreto, baixo cobrimento e corrosão das armaduras da laje foram encontradas em aproximadamente 7% da área da laje.



Figura 26 - Fissura com infiltração de água na laje



Figura 27 - Umidade e desagregação do concreto na laje

### 5.1.2 LONGARINAS E TRANSVERSINAS:

As manifestações patológicas visualizadas nas longarinas e transversinas foram fissura, nicho de concretagem, cobrimento insuficiente, infiltração de água, presença de armadura exposta, esses defeitos podem ser vistos nas figuras 28 a 31.



Figura 28 - Fissura na longarina sobre pilar

Observou-se uma fissura vertical de aproximadamente 0,1mm de abertura na longarina V1, sobre o pilar do primeiro apoio.



Figura 29 - Armadura exposta com presença de nicho de concretagem e corrosão.

Na mesma longarina, na segunda metade do vão, foram observadas armaduras expostas com presença de corrosão, podendo ser visto a presença de nicho de concretagem mais profundo que o cobrimento das armaduras (Figura 29). A corrosão da armadura de flexão é somente superficial, porém a corrosão dos estribos encontrou-se mais severa tendo uma leve perda de sua seção transversal.



Figura 30 - Longarina com baixo cobrimento

Nas longarinas e transversinas pode-se perceber, visualmente, na Figura 30, a existência de baixo cobrimento expondo os estribos.



Figura 31 - Infiltração de água na transversina.

### 5.1.3 ENCONTRO

No encontro observou-se a presença de desnível de aproximadamente 3 cm, o que pode ocasionar amplificação dos esforços diferentes dos previstos na concepção estrutural, esse desnível pode ser visualizado na Figura 32.



Figura 32 - Desnível no encontro da ponte.

### 5.1.4 PROTEÇÃO DO TALUDE

Foram observadas duas rachaduras na proteção do talude do lado sul, uma do lado jusante e outra do lado montante de aproximadamente 3 cm de espessura, apresentadas nas Figuras 33 e 34.

### 5.1.5 DRENAGEM

A drenagem de toda a ponte encontra-se prejudicada pelo entupimento dos canos, como mostrado na Figura 35.



Figura 33 - Fissura do lado montante da proteção do talude do lado sul



Figura 34 - Fissura do lado jusante da proteção do talude do lado sul



Figura 35 - Drenagem - Tubulação entupida

### 5.1.6 MARGEM DO RIO

A proteção da margem sul do rio encontra-se danificada devido a erosão, facilitando que o processo se agrave ainda mais. Este dano pode ser observado na Figura 36.



Figura 36 - Margem sul do rio

### 5.1.7 ALA

A Ala a montante do lado sul apresenta uma rachadura na sua face superior, com aproximadamente 1 cm de espessura, como mostrado na Figura 37.



Figura 37 - Ala a jusante do lado sul apresentando fissura

### 5.1.8 BARREIRA

Várias barreiras encontram-se fissuradas, danificadas e quebradas, como observado nas figuras a seguir, mas em geral conseguem cumprir sua função.



Figura 38 - Barreira quebrada



Figura 39 - Barreira danificada

### 5.1.9 GUARDA RODA

No guarda roda encontrou-se algumas fissuras, como mostrado na Figura 40, que podem facilitar a passagem de água pela estrutura.



Figura 40 - Fissura no guarda roda

### 5.1.10 PAVIMENTO

Observou-se a presença de um buraco profundo no pavimento, o qual pode ser observado na Figura 41. Esse buraco pode facilitar a passagem de água



Figura 41 - Buraco no pavimento

## 5.2 RESULTADO DOS ENSAIOS

Nesse item apresenta-se um resumo dos resultados dos ensaios, no Apêndice C - encontra-se esses resultados mais detalhados.

### 5.2.1 MEDIDA DO COBRIMENTO DAS ARMADURAS

As tabelas a seguir apresentam um resumo dos cobrimentos obtidos.

Tabela 8 - Cobrimento nos pilares (mm)

<b>Elemento</b>	<b>Armadura</b>	<b>Cobrimento mínimo</b>	<b>Cobrimento máximo</b>
<b>P1 - sul</b>	longitudinal	16	37
<b>P2 - sul</b>	longitudinal	16	38
<b>P3 - sul</b>	longitudinal	8	41
<b>P4 - sul</b>	longitudinal	15	34
<b>P1 - norte</b>	longitudinal	13	38
<b>P2 - norte</b>	longitudinal	16	38
<b>P3 - norte</b>	longitudinal	11	33
<b>P4 - norte</b>	longitudinal	19	30

Tabela 9 - Cobrimento na longarina V1 (mm)

<b>Elemento</b>	<b>Armadura</b>	<b>Cobrimento médio</b>
<b>V1</b>	flexão	14
	pele	24
	estribos	12

Considerando que o cobrimento mínimo sugerido pela norma NBR 6118/2007 é de 25 mm para regiões com nível de agressividade baixa, ambiente rural, percebe-se que o resultado do ensaio sugere que os pilares encontram-se com um cobrimento inferior ao regulamentado atualmente, o que facilita a corrosão e degradação das armaduras. A norma NB1/1960, norma da época, sugeria um cobrimento mínimo de 20mm para vigas e pilares (PFEIL, 1976).

Da mesma forma, verifica-se que os cobrimentos observados para a longarina V1 se mostraram inferiores ao recomendado. Em especial, o cobrimento de 14 mm observado para a armadura inferior de flexão não

atende ao mínimo recomendado pela norma caso o ambiente fosse de agressividade mínima.

Salienta-se que os resultados indicaram armaduras muito próximas o que diminui a precisão do aparelho, interferindo nos resultados observados de cobrimento.

## 5.2.2 POTENCIAL DE CORROSÃO

A Tabela 10 mostra os resultados individuais obtidos no ensaio de potencial pontual de corrosão realizado na face lateral da viga V1 na região em balanço do lado sul.

Tabela 10 - Valores do potencial de corrosão na V1-S (mV)

-28	-26	-35	-73	-51	-31
-03	-03	+04	-04	+21	+20
+06	+35	+53	+57	+51	+51
-05	+54	+81	+83	+72	-03
+83	+101	+110	+109	+106	+102
+127	+135	+138	+134	+132	+131

Os resultados deste ensaio indicaram, de acordo com a Tabela 1, uma probabilidade baixa (10%) de a armadura apresentar corrosão. No entanto quando retirou-se parte do concreto para fazer o aterramento do equipamento, pôde-se perceber a presença de corrosão. Uma possível explicação seria a falta de umidade suficiente na realização dos ensaios ou uma possível carbonatação do concreto.

Os resultados observados para as outras regiões ensaiadas se mostraram na mesma faixa dos valores de potencial apresentados acima.

### 5.2.3 ESCLEROMETRIA

As tabelas a seguir apresentam os resultados de índice esclerométrico encontrados para os elementos ensaiados.

Tabela 11- Índices Esclerométricos nos Pilares

Pilar	IE Médio
P1N	44
P2N	44
P3N	45
P4N	49
P1S	43
P2S	41
P3S	48
P4S	49

Tabela 12 - Índices Esclerométricos nas vigas

Viga	IE Médio
Viga Travamento dos Pilares (Sul)	47
Longarina V1_S (metade do balanço)	40
Longarina V1_S (balanço próximo ao pilar)	44
Longarina V2_S (metade do balanço)	48
Longarina V4_N (metade do balanço)	43

Esses resultados indicam uma boa homogeneidade do concreto, pois pode ser observada uma variação inferior à 10%.

## 5.2.4 ULTRASSOM

As velocidades de propagação dos pulsos ultrassônicos encontradas estão representadas nas tabelas a seguir.

Tabela 13 - Leitura do Ultrassom, lado Sul

Elemento	Velocidade (m/s)
P1	4841
P3	4908
P4	4908
V1	4951

Tabela 14 - Leitura do Ultrassom, lado Norte

Elemento	Velocidade (m/s)
P1	3710
P2	4251
P3	3742
P4	4175
V1	4480

As velocidades encontradas variam de 3710 m/s, no Pilar P1 do lado Norte a 4951 m/s na Longarina V1 no lado Sul. Essas velocidades indicam um concreto de boa a excelente qualidade.

As velocidades encontradas na laje foram de 4242m/s e 4340m/s, indicando, também, um concreto de boa qualidade.

É importante frisar que embora pela Tabela 2 os valores de 3700 para os pilares P1N e P3N indicam um concreto de boa qualidade, estes valores são bem inferiores que os demais, sugerindo uma falta de

homogeneidade entre os elementos. Como, entretanto, os IE encontrados para estes pilares não diferiram significativamente dos demais elementos estruturais, poderia se tornar interessante uma inspeção mais criteriosa destes elementos para verificar se estes valores inferiores não indicariam uma possível não homogeneidade interna nestes elementos ou se os valores de IE estariam afetados pela carbonatação.

### 5.2.5 CARBONATAÇÃO

A tabela a seguir indica as profundidades de carbonatação encontradas.

Tabela 15- Profundidade de Carbonatação

<b>Elemento</b>	<b>Profundidade de Carbonatação (mm)</b>
<b>P1S</b>	1
<b>P1N</b>	1
<b>V1S</b>	10
<b>V1N</b>	> cobrimento

Pela realização deste ensaio pode-se perceber que os pilares encontram-se com uma profundidade de carbonatação que não apresenta perigo imediato de facilitar a corrosão das armaduras. Já as vigas possuem uma profundidade de carbonatação preocupante, que chega a armadura principal. Não foi possível realizar este ensaio nas transversinas nem na laje, mas assumiu-se que ambas estivessem carbonatadas, devido à corrosão das armaduras.

Essa profundidade de carbonatação encontrada na longarina V1S reforça a teoria de interferência causada pela carbonatação nos resultados encontrados no ensaio de potencial de corrosão.

### 5.3 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DA PONTE SELECIONADA

#### 5.3.1 MÉTODO DNIT

As notas dos elementos da ponte, avaliados de acordo com o método do DNIT a partir da inspeção detalhada apresentada acima, estão apresentadas na tabela 16.

Tabela 16 - Notas de acordo com o método do DNIT

<b>Elemento</b>	<b>Dano</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
<b>Laje</b>	Nicho de concretagem, fissura, vazamento de água através de fissura, presença de umidade, desagregação do concreto, cobrimento insuficiente, corrosão das armaduras	4/3	Não há sinais de que esteja gerando insuficiência estrutural, porém a recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática.
<b>Longarinas</b>	Fissura, nicho de concretagem, cobrimento insuficiente, presença de armadura exposta, carbonatação	4/3	Não há sinais de que esteja gerando insuficiência estrutural, porém a recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática.
<b>Encontro</b>	Desnível	3	Há danos gerando insuficiência estrutural - vibração excessiva e esforços diferenciados dos previstos no projeto, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. A recuperação da obra pode ser postergada, devendo-se, porém, neste caso, coloca-se o problema em observação sistemática

<b>Elemento</b>	<b>Dano</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
<b>Drenagem</b>	Entupimento	4	Há alguns danos mas não há sinais de que esteja gerando insuficiência estrutural. Nada a fazer; apenas serviços de manutenção
<b>Margem do Rio</b>	Erosão	4/3	Não há sinais de que esteja gerando insuficiência estrutural, porém a recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática
<b>Pilares</b>	Baixo cobrimento	5	Não há danos nem insuficiência estrutural. Nada a fazer.
<b>Ala</b>	Fissura	4/3	Não há sinais de que esteja gerando insuficiência estrutural, porém a recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática
<b>Transversina</b>	Umidade, carbonatação, corrosão dos estribos	4	Há alguns danos mas não há sinais de que esteja gerando insuficiência estrutural. Nada a fazer; apenas serviços de manutenção
<b>Guarda Roda</b>	Fissuras	4/3	Não há sinais de que esteja gerando insuficiência estrutural, porém a recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática

<b>Elemento</b>	<b>Dano</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
<b>Barreira</b>	Fissuras, destruídos	4/3	Não há sinais de que esteja gerando insuficiência estrutural, porém a recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática
<b>Pavimento</b>	Buraco	4	Há alguns danos mas não há sinais de que esteja gerando insuficiência estrutural. Nada a fazer; apenas serviços de manutenção
<b>Ap. Apoio</b>	Ø	5	Não há danos nem insuficiência estrutural. Nada a fazer.
<b>Nota Final</b>		<b>3</b>	

Alguns elementos poderiam ser classificados com notas diferentes dependendo da coluna que se considerasse da Tabela 4. Por exemplo no caso das lajes, na coluna Dano no elemento / Insuficiência estrutural, seria classificada como possuindo alguns danos mas sem sinais de que esteja gerando insuficiência estrutural, possuindo dessa forma uma nota 4, já na coluna Ação corretiva, seria classificada como nota 3. Esse foi o mesmo caso para as longarinas, margem do rio, ala, guarda roda e barreira. Nesses casos optou-se pela nota menor que garantisse maior segurança, porém essas notas não interferiram na nota final da ponte, três, portanto foi classificada como estando boa aparentemente, conforme Tabela 4.

### **5.3.2 MÉTODO UTILIZADO PELO ZAG**

Os resultados da inspeção da ponte sobre o Rio Lambari, utilizando o método do ZAG, estão apresentados na Tabela 17.

Optou-se por quantificar o coeficiente  $k_4$  para o dano na proteção do talude como 1, porém recomendar que realizasse um monitoramento da evolução desse dano durante as próximas inspeções, para verificar a evolução ou estabilização do mesmo.

Em alguns danos como a armadura exposta e nicho de concretagem da longarina, nicho de concretagem e desagregação do concreto da laje, optou-se por avaliar como 1 o coeficiente  $k_4$ , mas recomendar-se um reparo num período de 24 meses, essa medida foi tomada para tentar não elevar muito o resultado final.

Apesar dessas medidas, a nota total da ponte foi 34,23, classificando a ponte em estado crítico.

Tabela 17 - Classificação de acordo com o método do ZAG

<b>Elemento</b>	<b>Dano</b>	<b>B</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>Kd</b>
<b>Encontro</b>	Desnível	2,0	0,7	0,6	0,5	3,0	1,26
<b>Proteção do Talude</b>	Rachaduras	1,0	0,3	0,4	0,5	1,0	0,06
<b>Dreno</b>	Entupimento	1,0	0,3	0,4	1,0	1,0	0,12
<b>Leito do rio</b>	Erosão	1,0	1,0	1,0	0,5	3,0	1,50
<b>Alas</b>	Fissura	2,0	0,7	1,0	0,5	1,0	0,70
<b>Lajes</b>	Nicho de concretagem	1,0	1,0	0,4	0,5	1,0	0,20
	Vazamento de água através de fissura	2,0		0,6	0,5	3,0	1,80
	Umidade	1,0		0,4	0,5	1,0	0,20
	Desagregação do concreto	3,0		1,0	0,8	1,0	2,40
	Carbonatação	2,0		1,0	1,0	1,0	2,00
	Baixo cobrimento	3,0		0,8	1,0	1,0	2,40
<b>Longarinas</b>	Fissura	2,0	1,0	0,4	0,5	1,0	0,40
	Nicho de concretagem	1,0		0,6	0,5	1,0	0,30
	Baixo cobrimento	3,0		0,8	1,0	1,0	2,40
	Carbonatação	2,0		1,0	1,0	1,0	2,00
	Armadura exposta	2,0		1,0	0,5	1,0	1,00

<b>Elemento</b>	<b>Dano</b>	<b>B</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>Kd</b>
	Corrosão da armadura de flexão	3,0		0,4	0,5	1,0	0,60
	Corrosão dos estribos	1,0		0,6	1,0	3,0	1,80
<b>Transversinas no encontro</b>	Vazamento de água através de fissura	2,0	1,0	0,4	0,5	1,0	0,40
	Carbonatação	2,0		0,8	1,0	1,0	1,60
	Baixo cobrimento	3,0		0,8	1,0	1,0	2,40
<b>Transversinas sobre apoios</b>	Carbonatação	2,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,60
	Baixo cobrimento	3,0		0,8	1,0	1,0	2,40
<b>Transversinas no meio do vão</b>	Carbonatação	2,0	0,7	0,8	1,0	1,0	1,12
	Baixo cobrimento	3,0		0,8	1,0	1,0	1,68
<b>Guarda Roda</b>	Fissuras	2,0	1,0	0,6	0,8	1,0	0,96
<b>Pavimento</b>	Buraco	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,50
<b>Barreira</b>	Quebrada	1,0	0,3	0,6	0,8	3,0	0,43
<b>Pilares</b>	Baixo cobrimento	3,0	1,0	0,4	0,8	1,0	0,96
<b>Total</b>							34,23



## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 6.1 ARMAZENAMENTO DAS INFORMAÇÕES

É interessante utilizar um programa como o eBRIDGE para armazenar as informações das inspeções e, desta forma, ter um controle maior das inspeções de pontes e de seus resultados. Com a utilização de programas para armazenar e comparar as inspeções fica mais fácil fazer o acompanhamento da evolução de um defeito e também avaliar os resultados de manutenções e reforços realizados.

Torna-se interessante utilizar um programa como esse para gerenciar todas as pontes do território nacional, podendo esse controle ser separado por estado, de modo que poder-se-ia priorizar, com mais facilidade e informação, as pontes que necessitam de manutenção e reforço, diminuindo os custos desnecessários e direcionando melhor os investimentos.

### 6.2 INSPEÇÕES

Os tipos de inspeções existentes no Brasil e no exterior são muito semelhantes, diferenciando-se, sobretudo, no quesito de qualificação dos inspetores e periodicidade.

Na metodologia de inspeção adotada pode-se relatar as manifestações patológicas encontradas e relacioná-las corretamente com suas imagens, dimensões e local facilitando a avaliação dos defeitos encontrados e, conseqüentemente, a classificação da condição da ponte.

### 6.3 CAPACITAÇÃO DOS INSPETORES

Um dos problemas de inspeções de pontes é a divergência da classificação. Como as metodologias utilizadas dependem da avaliação dos seres humanos, elas estão sujeitas a erros e principalmente a divergências dependendo do inspetor que fez a inspeção. Portanto, novamente pode-se ressaltar a importância de um treinamento, para que se possa homogeneizar a classificação das pontes de acordo com sua real condição.

Outro fator que poderia colaborar para uma melhor uniformidade dos resultados seria a realização da inspeção por dois inspetores

separadamente e classificação final seria a média das duas. Dessa forma diminuiria a dependência das diferentes opiniões de cada inspetor.

Com as pontes sendo classificadas de forma homogênea a seleção das pontes que merecem uma atenção especial ou que precisam de reparos mais urgentes pode ser melhor realizada e controlada. Desta forma podem-se evitar gastos desnecessários e melhor garantir a priorização dos reparos em pontes que realmente necessitam que medidas corretivas sejam tomadas com urgência, evitando catástrofes como o colapso da estrutura.

#### 6.4 UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE OAE

Na utilização do ensaio de Potencial de Corrosão, no estudo de caso, obteve-se um resultado que poderia gerar uma interpretação errônea da realidade da estrutura, destacando a importância da realização desses ensaios por pessoal qualificado para poder verificar e avaliar corretamente os resultados.

Outro fator a se destacar é a diferente classificação que pode acontecer com uma ponte numa inspeção utilizando-se END e sem a utilização dos mesmos, pois com a utilização destes ensaios, pode-se perceber características não possíveis de serem observadas numa inspeção somente visual, como carbonatação e homogeneidade do concreto.

#### 6.5 AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO

Com a comparação do método utilizado no Instituto ZAG como o método utilizado pelo DNIT, pode-se perceber que, apesar de ambos possuírem uma forte dependência dos critérios próprios de cada inspetor, o método esloveno ameniza essa ocorrência no momento que fixa um valor preestabelecido para cada tipo de defeito e para cada diferente elemento estrutural. Portanto, mesmo sabendo das dificuldades de se eliminar a problemática das divergências de classificação da condição das pontes, pode-se tentar diminuir essa diferença. Assim sendo, percebe-se a importância da criação de uma nova metodologia para classificação da avaliação de OAE para ser utilizada pelo DNIT e aplicada em todo o território nacional.

Sendo a avaliação dos defeitos da ponte realizada por defeito, como na metodologia utilizada no ZAG, é mais fácil comparar o resultado

de uma inspeção com o resultado de uma inspeção anterior, desta forma poder-se-ia ter um acompanhamento melhor do desenvolvimento dos defeitos, como a expansão de uma fissura, a diminuição da seção de uma barra devido a corrosão, aumento do recalque.

O método do DNIT é mais simples e fácil, porém depende mais fortemente da capacitação e avaliação individual de cada inspetor.

## 6.6 ESTUDO DE CASO

O resultado apresentado pelo método do DNIT condiz melhor com a realidade da ponte, porém apresenta algumas dificuldades de classificar os elementos da ponte de acordo com seus critérios, transformando essa avaliação ainda mais subjetiva, dependendo da experiência de cada inspetor.

Porém o resultado obtido pela utilização do método do ZAG apresentou um valor indicativo que a ponte estaria num estado mais degradado do que a realidade.

Um ponto a ser levantado é a importância que o desnível no encontro da ponte apresentou no método do DNIT, pois foi essa manifestação que foi responsável pela classificação da ponte como boa aparentemente. Pelo outro lado a nota dessa patologia no método da Eslovênia não chegou a representar 4% da nota total da ponte. Portanto, se esse desnível não existisse, a ponte seria classificada como boa, pelo método do DNIT, mas isso não alteraria o resultado final do método esloveno. Desta forma, pode-se destacar a sensibilidade do método brasileiro a interferência de somente um defeito ou um elemento estrutural danificado.

As notas dos elementos estruturais devido ao método do DNIT, que em sua maioria foram as mesmas, destacam o resultado encontrado pelos ensaios não destrutivos, que indicaram uma uniformidade dos elementos.

Pode-se considerar que o valor elevado da nota pelo método esloveno, esteja relacionado com os ensaios realizados, que demonstraram a presença de carbonatação na ponte. Desconsiderando esses resultados, considerando apenas a inspeção visual, o resultado seria 26,76, que continuaria indicando que a ponte está em estado crítico. Outra possibilidade levantada foi a somatória do mesmo defeito em diferentes transversinas, porém eliminando-se os valores devido a carbonatação e agrupando as transversinas em somente uma, considerando somente uma

vez cada defeito, a nota total ficaria 21,72, ou seja, ainda estaria classificada como crítica.

Verificou-se que várias manifestações patológicas encontradas estão relacionadas com corrosão das armaduras e que esse seria o defeito principal, sugeriu-se agrupar esses defeitos que podem gerar corrosão e considerar somente essa manifestação patológica, desta forma foi feita uma adaptação da metodologia do ZAG.

### 6.6.1 ADAPTAÇÃO DA METODOLOGIA ESLOVENA

Com o objetivo de utilizar um método que apresente uma descrição detalhada dos danos e um resultado coerente com a realidade da obra, resolveu-se agrupar os defeitos que poderiam ser causa de um outro defeito e considerar somente uma manifestação patológica principal fazendo, portanto, uma adaptação do método do ZAG que possa ser aplicada em pontes brasileiras. Com a consideração de somente o defeito mais grave, se diminui a interferência de uma somatória exagerada de valores, que acaba gerando um resultado muito elevado.

Desta maneira, no caso da laje, agrupou-se vazamento de água, umidade, carbonatação e baixo cobrimento e considerou-se somente corrosão da armadura. Nas longarinas agrupou-se baixo cobrimento, carbonatação, armadura exposta, corrosão dos estribos e corrosão da armadura de flexão e considerou-se somente corrosão as armaduras. Já nas transversinas considerou-se somente um tipo de transversina e todos as manifestações foram agrupadas em corrosão das armaduras. Desta forma, como mostra a Tabela 18, a nota total da ponte foi 12,99, sendo classificada como satisfatória.

Tabela 18 - Classificação de acordo com adaptação do método da Eslovênia

<b>Elemento estrutural</b>	<b>Dano</b>	<b>B</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>Kd</b>
<b>Encontro</b>	Desnível	2,0	0,7	0,6	0,5	3,0	1,26
<b>Proteção do Talude</b>	Rachaduras	1,0	0,3	0,4	0,5	1,0	0,06
<b>Dreno</b>	Entupimento	1,0	0,3	0,4	1,0	1,0	0,12
<b>Leito do rio</b>	Erosão	1,0	1,0	1,0	0,5	3,0	1,50
<b>Alas</b>	Fissura	2,0	0,7	1,0	0,5	1,0	0,70

<b>Elemento estrutural</b>	<b>Dano</b>	<b>B</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>Kd</b>
<b>Lajes</b>	Nicho de concretagem	1,0	1,0	0,4	0,5	1,0	0,20
	Desagregação do concreto	3,0		1,0	0,8	1,0	2,40
	Corrosão da Armadura	3,0		0,6	1,0	1,0	1,80
<b>Longarinas</b>	Fissura	2,0	1,0	0,4	0,5	1,0	0,40
	Nicho de concretagem	1,0		0,6	0,5	1,0	0,30
	Corrosão da armadura de flexão	3,0		0,4	0,5	1,0	0,60
<b>Transversinas</b>	Corrosão dos estribos	2,0	1,0	0,4	1,0	1,0	0,80
<b>Guarda roda</b>	Fissuras	2,0	1,0	0,6	0,8	1,0	0,96
<b>Pavimento</b>	Buraco	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,50
<b>Barreira</b>	Quebrada	1,0	0,3	0,6	0,8	3,0	0,43
<b>Pilares</b>	Baixo cobrimento	3,0	1,0	0,4	0,8	1,0	0,96
<b>Total</b>							12,99

Com a utilização dessa adaptação, continuou-se utilizando coeficientes predefinidos para cada elemento e dano, facilitando a uniformidade de resultados, porém eliminou-se a somatória excessiva de defeitos que poderia gerar um resultado falacioso.

Pela utilização de ambos os métodos percebeu-se uma facilidade maior de classificar os danos de acordo com o método da Eslovênia, porém este obteve um resultado o qual indicava que a ponte estaria em um estado mais degradado do que realmente estava. Já pela utilização do método do DNIT, o resultado apresentado indicou que a ponte estaria em condições melhores do que seu estado real. Por outro lado, ao agrupar-se as manifestações relacionadas com o mesmo defeito, no método da Eslovênia, obteve-se um resultado condizente com a realidade e com maior detalhamento que o método do DNIT.

Os resultados obtidos sugerem que a utilização do método adaptado do ZAG apresentou um resultado que indica uma condição mais coerente com a real condição encontrada na ponte.

No entanto para que se possa validar esse método para ser aplicado em outras pontes, seria necessário testá-lo, pela realização de inspeções e classificação das mesmas por essa metodologia.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho de mestrado foi comparar os métodos de avaliação do estado de conservação de uma ponte no Brasil utilizando-se o método de inspeção de OAE do DNIT e o utilizado no instituto ZAG da Eslovênia.

Para alcançar esse objetivo, estudou-se inicialmente as maneiras de inspeção existente no Brasil e Europa e as principais manifestações patológicas em pontes. Aliado a esses estudos realizou-se a inspeção de uma ponte e sua avaliação e classificação por ambos os métodos.

Pode-se perceber que a maior dificuldade num sistema de avaliação da condição de uma OAE é homogeneizar a classificação das pontes devido a forte dependência da opinião e qualificação dos inspetores.

Além disso, existe um grande número de obras construídas de formas diferentes e de tamanhos diferentes, o que dificulta a criação de um sistema de avaliação que possa abranger, qualificar e classificar, com os mesmos critérios, toda essa gama diferente de obras.

Pela realização desse trabalho pode-se perceber que a utilização de um método de somatória das notas de cada defeito, detalhando-os mais, possui a vantagem de facilitar a comparação entre inspeções da mesma obra. Além disso, diminui um pouco a dependência da qualificação do inspetor e a interferência que um único defeito pode ter na avaliação total de uma ponte. Porém, essa metodologia, pode apresentar uma classificação errônea do estado da ponte devido a somatória de pequenos danos e de danos que naturalmente se somam.

Já a utilização de um método simples utilizando uma única nota por elemento estrutural, apresentou um resultado muito mais próximo do real estado da ponte.

Por outro lado, esse método mais simples possui uma dependência maior da qualificação do inspetor e da generalização da nota da ponte devido a somente um elemento. Entretanto, modificando um pouco a consideração dos diferentes danos e considerando como somente um os danos principais e suas causas, obteve-se um melhor resultado junto com um bom detalhamento dos danos.

### 7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são listadas algumas recomendações para trabalhos futuros:

- Criação de uma metodologia que represente mais precisamente os defeitos encontrados, levando-se em conta a dimensão da OAE, o tipo de inspeção e os ensaios realizados;
- Elaboração de uma apostila e curso que auxilie o treinamento de inspetores para a qualificação e quantificação dos defeitos encontrados, assim como para identificá-los.
- Aplicar a metodologia eslovena na avaliação de várias pontes para se comparar a utilização dos coeficientes em pontes da Europa e em pontes brasileiras.
- Aplicar a metodologia eslovena, com a adaptação de união dos defeitos, na avaliação de várias pontes para se verificar os resultados da viabilidade do método.
- Avaliar diferentes pontes por diferentes inspetores separadamente com ambos os métodos para se observar a variabilidade das notas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452 - vistorias de pontes e viadutos de concreto**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **6118: Projeto de estruturas de concreto: Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **8802: Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultra sônica**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **7584: Concreto endurecido –Avaliação da Dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C876 – 09: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete**1. West Conshohocken, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-PRO 123/94: inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido -procedimento**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Manual de Inspeção de Obras de Arte Especiais**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **NORMA DNIT 010/2004 – PRO Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Identificação de Sistemas de Pesagem em Movimento Utilizados no Continente Europeu**. 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Sistemas de Pesagem em Movimento - (WIM)**. 2007.

COST 345, 2007. **Procedures for Assessing Highway Structures, Final report of the COST 345 action**. Crowthorne/ Ljubljana, <http://cost345.zag.si/TransportResearchLaboratory/ZavodzagradbeništvoSlovenije>.

DEGUSSA. **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. Red. Rehabilitar, editores, São Paulo, 2003.

GOVERNO DE GOIÁS (Goiás). **Aspectos Físicos: Clima**. Disponível em: <http://www.goias.gov.br/paginas/conheca-goias/aspectos-fisicos/clima>>. Acesso em: 04 jul. 2013.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Bridge inspector's training manual (BRIM), 2012.

HABITAPLUS (Brasil). **Vantagens**. Disponível em: <http://habitaplus.com.br/>>. Acesso em: 03 jun. 2013.

HELENE, Paulo. **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. São Paulo: RedRehabilitar, 2003.

LENCIONI, Julia Wippich. **Proposta de Manual Para Inspeção de Pontes e Viadutos em Concreto Armado - Discussão Sobre a Influência dos Fatores Ambientais na Degradação de Obras-de-Arte Especiais**. 2005. 187f. Tese de Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeroportuária - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

LABORATÓRIO DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA - LABTRANS. **Objeto 6 – Programa de Acesso Inteligente: 6R02 – Relatório Parcial**. Florianópolis: UFSC, 2014.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de Concreto Armado**. São Paulo: Blucher, 2008.

MILANI, C. J.; KRIPKA, M. . **Subsídios para o Diagnóstico de Pontes Rodoviárias**. Engenharia (São Paulo), v. 612, p. 98-100, 2012.

MILANI, C. J.; KRIPKA, M.; Chamberlain. **Monitoramento de Pontes**. Infraestrutura urbana, v. 16, p. 58-62, 2012.

NÓBREGA, Stela Mara De Souza Da. **Comparação do Desempenho dos Métodos de Vistoria de Avaliação de Pontes e Viadutos Através de Estudo de Caso**. 2007. Monografia (Especialista em Patologia Das Construções) - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2007.

O'BRIEN, Eugene J. et al. **Procedures for the assessment of highway structures**. Institution Of Civil Engineers / Thomas Telford Publishing, Dublin, p.17-25, fev. 2005.

PFEIL, Walter. **Pontes em Concreto Armado: Elementos de projeto, Solicitações, Superestrutura**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1985.

PFEIL, Walter. **Pontes em Concreto Armado**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1979.

PFEIL, Walter. **Concreto Armado**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1976.

QUILLIGAN, Michael. **Bridge Weigh-in-Motion Development of a 2-D Multi-Vehicle Algorithm**. 2003. f. Tese (Doutorado) - Department of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute Of Technology, Estocolmo, 2003.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

VERÇOZA, Ênio José. (1991) **Patologia das edificações**. Porto Alegre. Editora Sagra.

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



## APÊNDICES

### APÊNDICE A - AVALIAÇÃO ESTRUTURAL COM UTILIZAÇÃO DA PESAGEM EM MOVIMENTO

Os sistemas de pesagem em movimento (*weigh-in-motion* - WIM) utilizam strain gages montados sobre, dentro ou sob o pavimento, para avaliar a deformação causada na estrutura, e, em consequência, estimar o ‘peso’ suportado pelo pneu.

De acordo com o DNIT (2007) a acurácia dos sistemas WIM é função de quatro principais fatores:

- Dinâmica do veículo – condicionada a rugosidade da superfície da rodovia, ao tipo de suspensão do veículo, ao balanceamento dinâmico do veículo, ao peso do veículo, à velocidade do veículo, às manobras do motorista, etc.;
- Integridade, composição e projeto do pavimento;
- Variância inerente no sistema WIM;
- Calibração.

A calibração garante que o peso estático estimado pelo sistema WIM se aproxime do peso estático real. A calibração é a etapa responsável pela consideração dos efeitos e características específicas da obra, como temperatura do pavimento, velocidades dos veículos e condições do pavimento.

#### A.1. PESAGEM EM MOVIMENTO EM PONTES

A tecnologia de sistema de pesagem em movimento em pontes (B-WIM) utiliza obras de arte existentes em rodovias (ex: pontes, viadutos, etc.), para estimar o peso dos veículos. Um sistema de Pesagem em Movimento em Pontes pode ser visualizado na Figura 42.

Os sistemas B-WIM utilizam transdutores de deformação para medir as deflexões dessas estruturas quando sujeitas a cargas móveis. A Figura 43 apresenta um transdutor de deformação já instalado na estrutura da uma OAE.

Inicialmente calibram-se estes transdutores utilizando-se caminhões com pesos conhecidos que trafegam sobre a ponte inúmeras vezes. Após a calibração, dezenas ou até centenas de milhares de medidas são realizadas para caracterizar o carregamento ao qual a ponte está sujeita.

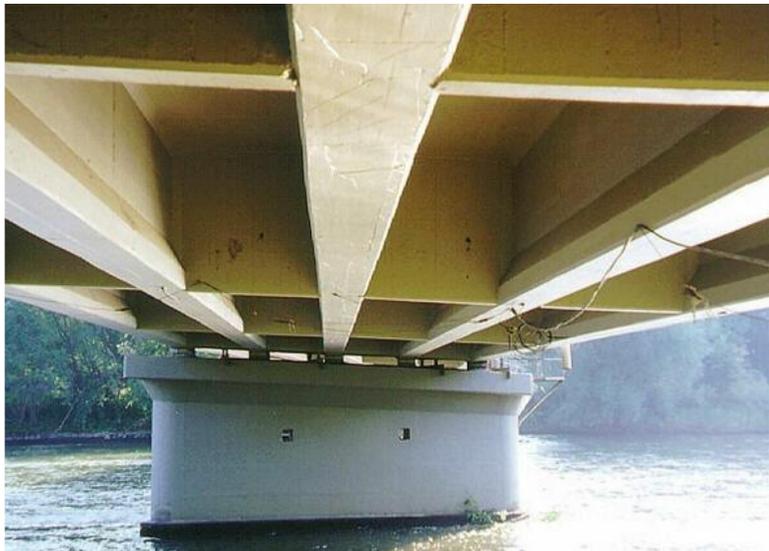


Figura 42 – Sistema WIM para pontes (DNIT, 2007).



Figura 43 – Transdutor de deformação instalado (DNIT, 2008).

Os sistemas SiWIM, utilizados na Eslovênia, são um tipo de sistema B-WIM, baseados numa série de transdutores de deformação instalados abaixo da ponte, portanto são invisíveis ao tráfego e sem necessidade de intervenção na pista, como apresentado na Figura 44 e na Figura 45. Os sinais dos sensores são, então, amplificados, convertidos digitalmente e armazenados.



Figura 44 – Pavimento da ponte: o SiWIM é invisível ao tráfego (FAVAI, 2006 apud DNIT 2008).



Figura 45 – Sensores SiWIM instalados sob a ponte (FAVAI, 2006 apud DNIT 2008).

Estes dados são utilizados como parâmetros de entrada de Algoritmos específicos, baseados no algoritmo de Moses, com o intuito de fornecer o valor de peso por eixo dos veículos, espaçamento entre os eixos, peso total do veículo, velocidade.

A determinação do momento fletor teórico pode ser obtido utilizando o conceito de linhas de influência, em que uma carga móvel sobre uma estrutura origina esforços proporcionais ao produto do valor da linha de influência e da respectiva carga.

A Figura 46 mostra a linha de influência na secção central de uma viga biapoiada, cujo cálculo do momento solicitante teórico, na secção central, pode ser calculado pela equação 2.

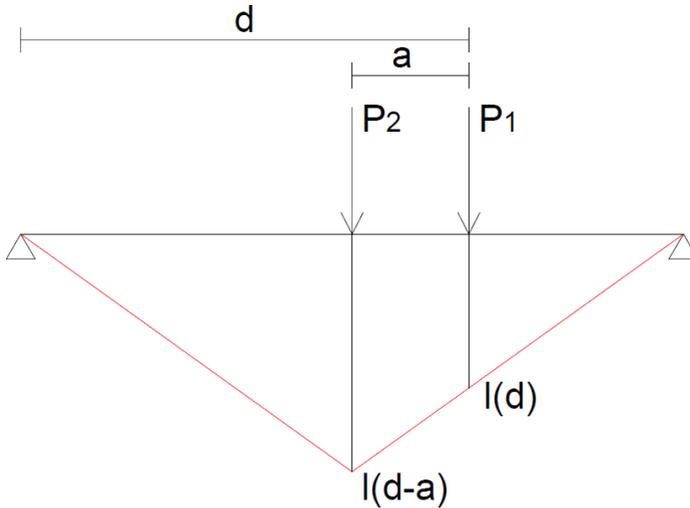


Figura 46 – Linha de influência na secção central de uma viga biapoiada

$$M_{S_t} = P_1 l(d) + P_2 l(d - a) \quad (2)$$

Assumindo que cada viga encontra-se instrumentada com um extensômetro segundo a direção longitudinal na secção de meio vão, para uma determinada posição estática de um veículo, pode-se afirmar que o momento fletor total do tabuleiro é igual à soma dos momentos fletores em cada uma das vigas, como demonstra a equação 3:

$$M_{S_e} = \sum_{j=1}^n M_j = \sum_{j=1}^n E \cdot W_j \cdot \varepsilon_j = EW \cdot \sum_{j=1}^n \varepsilon_j \quad (3)$$

Sendo conhecido o momento fletor teórico ( $M_{S_t}$ ) e obtendo-se as deformações ( $\varepsilon$ ) pelas leituras dos extensômetros, pode-se, com a passagem de veículos com pesos conhecidos, determinar o valor da única incógnita que resta, o produto  $EW$ . Esta etapa é feita durante a calibração.

Com o valor de EW determinado e o peso dos eixos P1 e P2 de novos veículos podem ser calculados pela utilização da função  $\phi$  que minimiza o erro entre o momento fletor teórico ( $M_{St}$ ) e o momento fletor experimental ( $M_{Se}$ ), equação 4:

$$\theta = (M_{St} - M_{Se})^2 \quad (4)$$

Tomando as derivadas parciais de  $\theta$  em relação a P1 e P2 e igualando a zero, o resultado é um sistema de equações em que as incógnitas são somente os desejados pesos por eixo.

Com dados de temperatura, coletados por sensores térmicos, determinam-se fatores de correção que podem aumentar a acurácia do sistema WIM “ponte”.

O sistema B-WIM também pode ser utilizado para a avaliação de pontes existentes. Durante a fase de projeto de uma ponte típica, o modelo de carga de tráfego utilizado pode ser conservador, devido à incerteza de cargas na fase de projeto. Bons modelos baseados no WIM podem remover algumas destas incertezas e, como resultado, o reforço desnecessário ou restrição de tráfego pode ser evitada. O sistema B-WIM também pode ser utilizado para a avaliação do impacto dinâmico de veículo que atravessam uma ponte. Isto pode ser utilizado para a avaliação da segurança ou para calcular a capacidade de carga de pontes (QUILLIGAN, 2003).

## A.2. AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA

O objetivo da avaliação da segurança estrutural é verificar se a estrutura tem capacidade de suportar com segurança os níveis de carregamento prescritos por norma. Nesta avaliação são quantificados o carregamento estrutural (S) e a capacidade de resistência real da estrutura (R), comparam-se essas variáveis para verificar o nível de segurança estrutural, utilizando a seguinte equação (O'BRIEN et al., 2005):

$$S - R < 0 \quad (5)$$

As variáveis S e R estão sujeitas a incertezas, e assim não podem ser quantificadas precisamente.

Uma possibilidade de tratamento destas incertezas é utilizando-se uma abordagem semi-probabilística ou método de coeficientes de segurança parciais, que possui esse nome devido à utilização de métodos probabilísticos para quantificar os coeficientes de segurança. Esta

metodologia leva em conta as incertezas intrínsecas do sistema em análise empregando valores característicos de carga ( $S_k$ ) e resistência ( $R_k$ ), assim como coeficientes de segurança. Neste enfoque a equação 5 é substituída por:

$$S_k \cdot \gamma_s \leq \frac{R_k}{\gamma_R} \quad (6)$$

Onde  $\gamma_s$  e  $\gamma_R$  são coeficientes de segurança relacionados com o carregamento e resistência, respectivamente.

Os coeficientes de segurança da equação 6 são dados por normas e são calculados a partir dos dados de inspeção nas pontes. O valor de resistência  $R_k$  é normalmente obtido do projeto estrutural, mas pode também ser avaliado por meio de extrações de testemunhos da estrutura existente e/ou por técnicas de ensaios não destrutivos.

A quantificação do carregamento estrutural  $S_k$ , por outro lado, é feita com a utilização dos dados de pesagem em movimento (WIM: *weight in motion*), com o coeficiente de segurança  $\gamma_s$  sendo também dado por norma.

## APÊNDICE B - PONTES AO LONGO DO TRECHO SELECIONADO

Com a inspeção visual realizada pode-se observar alguns defeitos encontrados nas pontes.

### B.1. PONTE SOBRE O RIO PASSA TRÊS

Como em vários outros casos, a vegetação dificulta a visualização da placa informando sobre a ponte, como pode ser visto na Figura 47.



Figura 47 - Rio Passa Três - Placa de sinalização

Na Figura 48 pode se ter uma visão da parte superior da ponte, pavimentação e barreira e na Figura 49 pode ser visualizada a vista lateral da ponte.



Figura 48 - Rio Passa Três - Vista superior



Figura 49 - Rio Passa Três - Vista Lateral

## B.2. PONTE SOBRE O CÓRREGO MATO GROSSO

A Figura 50 mostra uma vista da pista da Ponte sobre o Córrego Mato Grosso.



Figura 50 - Ponte sobre o Córrego Mato Grosso - Vista superior

Uma vista geral da ponte pode ser visualizada na Figura 51.



Figura 51 - Ponte sobre o Córrego Mato Grosso - Visão geral

### B.3. PONTE SOBRE O CÓRREGO VAI E VEM

A vista superior dessa ponte pode ser observada na Figura 52.



Figura 52 - Ponte sobre o Córrego Vai e Vem - Vista superior

Na Figura 53 pode-se ver a estrutura da ponte, pilares, longarinas e transversinas.



Figura 53 - Ponte sobre o Córrego Vai e Vem - Vista inferior

#### B.4. PONTE SOBRE O CÓRREGO ITINGUIJADA

A Figura 54 mostra a parte superior da ponte e uma das placas de sinalização e a Figura 55 apresenta uma visão geral da parte inferior da ponte.



Figura 54 - Ponte sobre o Córrego Itingujada – Vista superior



Figura 55 - Ponte sobre o Córrego Itingujada – Vista Inferior

#### B.5. PONTE SOBRE O RIO LAMBARI

Maiores detalhes sobre essa ponte foram mencionados nos itens anteriores.

#### B.6. PONTE SOBRE O RIO DO OURO

Na Figura 56 pode-se observar a vista superior da ponte.



Figura 56 - Ponte sobre o Rio do Ouro - Vista superior

A vista geral da estrutura está apresentada na Figura 57.



Figura 57 - Ponte sobre o Rio do Ouro - Vista geral

#### B.7. PONTE SOBRE O CÓRREGO DO FUNIL

A Figura 58 apresenta a vista superior da ponte.



Figura 58 -Ponte sobre o Córrego do Funil - Vista superior

Na Figura 59 observa-se parte da estrutura da ponte.



Figura 59 - Ponte sobre o Córrego do Funil - Vista geral

#### B.8. PONTE SOBRE O RIO CANA-BRAVA

A vista superior dessa ponte está apresentada na Figura 60.



Figura 60 - Ponte sobre o Rio Cana-Brava - Vista superior

Parte da estrutura dessa ponte pode ser visualizada na Figura 61.



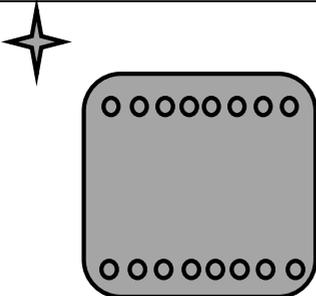
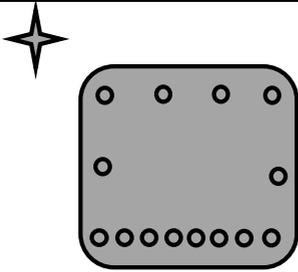
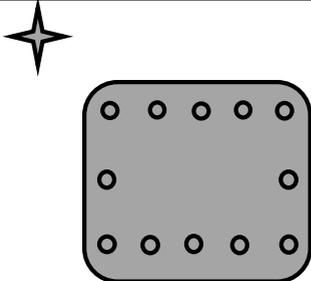
Figura 61 - Ponte sobre o Rio Cana-Brava- Vista geral

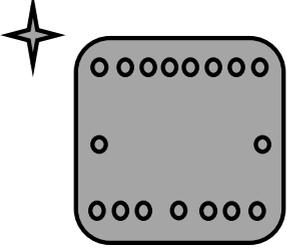
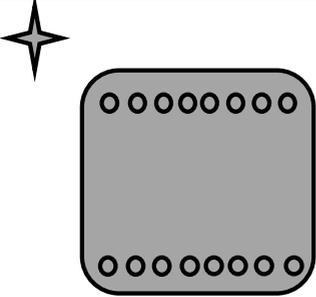
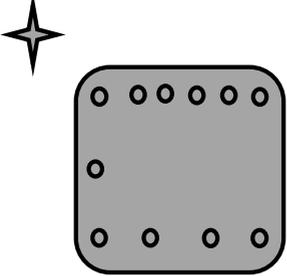
## APÊNDICE C - RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NA PONTE SOBRE O RIO LAMBARI

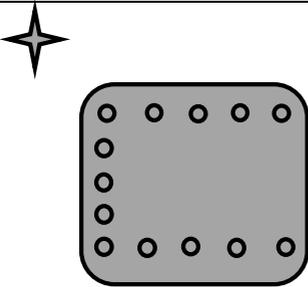
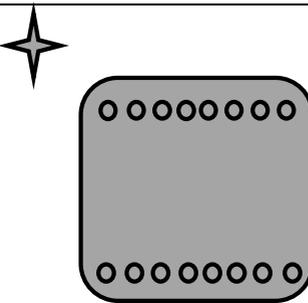
### C.1. DETECTOR DE COBRIMENTO DE ARMADURA

As medidas detectadas com o profometer, nos ensaios realizados nos pilares, estão demonstradas na Tabela 19.

Tabela 19 – Cobrimento dos Pilares

	<p>P1 - Sul</p> <p>Cobrimento mínimo: 16</p> <p>Cobrimento máximo: 37</p> <p>Diâmetro das barras: 25 mm</p>
	<p>P2 - Sul</p> <p>Cobrimento mínimo: 16</p> <p>Cobrimento máximo: 38</p> <p>Diâmetro das barras: 25 mm</p>
	<p>P3 - Sul</p> <p>Cobrimento mínimo: 8</p> <p>Cobrimento máximo: 41</p> <p>Diâmetro das barras: 25 mm</p>

	<p>P4 - Sul</p> <p>Cobrimento mínimo: 15</p> <p>Cobrimento máximo: 34</p> <p>Diâmetro das barras: 25 mm</p>
	<p>P1 - Norte</p> <p>Cobrimento mínimo: 13</p> <p>Cobrimento máximo: 38</p> <p>Diâmetro das barras: 25 mm</p>
	<p>P2 - Norte</p> <p>Cobrimento mínimo: 16</p> <p>Cobrimento máximo: 38</p> <p>Diâmetro das barras: 25 mm</p>

	<p>P3 - Norte</p> <p>Cobrimento mínimo: 11</p> <p>Cobrimento máximo: 33</p> <p>Diâmetro das barras: 25 mm</p>
	<p>P4 - Norte</p> <p>Cobrimento mínimo: 19</p> <p>Cobrimento máximo: 30</p> <p>Diâmetro das barras: 25 mm</p>

Na longarina V1, o aparelho encontrou duas armaduras de flexão, com diâmetro de 10 mm e cobrimento médio de 14 mm, oito armaduras de pele, na lateral da viga, com diâmetro inferior a 8 mm e cobrimento médio de 24 mm, já os estribos seriam de 6 mm com espaçamento de 20cm e cobrimento médio de 12mm.

## C.2. ESCLEROMETRIA

A Tabela 20 traz os resultados dos índices esclerométricos (IE) obtidos para os pilares. Os valores indicados em vermelho não fazem parte do cálculo da média.

Os valores de índice esclerométrico obtidos para as vigas são apresentados na Tabela 21. Novamente, os valores em vermelho não fazem parte do cálculo do índice médio.

Os índices esclerométricos medidos na laje foram tomados no sentido 180 graus e estão demonstrados na Tabela 22.



Para a conversão dos IE para resistência foi realizada utilizando-se a tabela fornecida pelo fabricante do aparelho.

### C.3. ULTRASSOM

As leituras realizadas nos pilares e viga do lado sul obtiveram os resultados mostrados na Tabela 23.

Tabela 23 - Leitura do Ultrassom, lado Sul

Elemento	T médio ( $\mu\text{s}$ )	Distância (m)	Velocidade (m/s)
P1	84,7	0,41	48401
P3	81,5	0,40	4908
P4	81,5	0,40	4908
V1	50,5	0,25	4950

Na laje do lado Sul foram realizados dois ensaios, mostrados na Tabela 24 e na Tabela 25.

Tabela 24 - Leituras do Ultrassom na laje, ensaio 1

Distância (cm)	Tempo ( $\mu\text{s}$ )
10	5,4
20	28,1
30	50,5
40	67,5
50	101,6
60	121,8

Por meio de regressão linear, é possível encontrar a equação que define a curva ilustrada na Figura 62. Dessa equação, o coeficiente

angular é a velocidade das ondas de ultrassom na laje, ou seja, para o ensaio indireto a velocidade das ondas de ultrassom foi de 4242m/s.

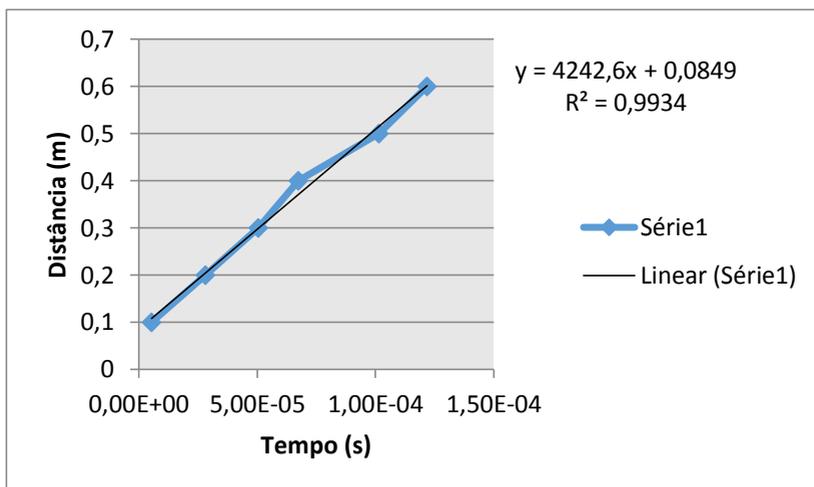


Figura 62 - Velocidade da onda de ultrassom na laje - Ensaio 1

Tabela 25 - Leituras do Ultrassom na laje, ensaio 2

Distância (cm)	Tempo ( $\mu$ s)
10	120,2
20	88,8
30	66,8
40	48,6
50	24,2
60	2,2

Semelhante ao caso anterior, o coeficiente da reta definida pela equação, ilustrada na Figura 63, é a velocidade da onda de ultrassom na laje para ensaio indireto e 4340m/s.

As leituras realizadas nos pilares e viga do lado norte, apresentaram os resultados mostrados na Tabela 26.

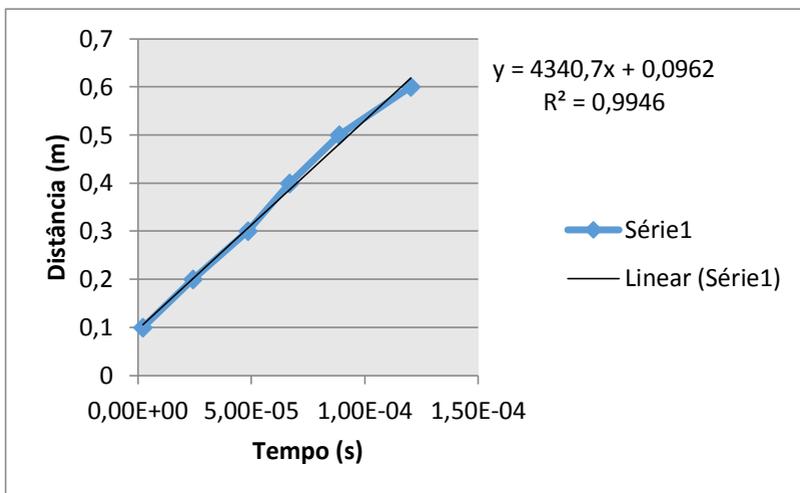


Figura 63 - Velocidade da onda de ultrassom na laje - Ensaio 2

Tabela 26 - Leitura do Ultrassom, lado Norte

Elemento	T médio ( $\mu$ s)	Distância (m)	Velocidade (m/s)
P1	110,5	0,41	3710
P2	94,1	0,4	4251
P3	106,9	0,4	3742
P4	95,8	0,4	4175
V1	55,8	0,25	4480

#### C.4. CARBONATAÇÃO

Para verificar o nível de carbonatação do concreto da infraestrutura foram realizados ensaios nos pilares P1S e P1N, conforme pode ser visto na Figura 64. Já para a superestrutura, o ensaio de carbonatação foi realizado na viga V1, tanto do lado Norte quanto do lado Sul, conforme ilustra a Figura 65 e a Figura 66.



Figura 64 - Ensaio de Carbonatação, P1 Sul



Figura 65 - Ensaio de carbonatação, V1 Sul



Figura 66 - Ensaio de carbonatação, V1 Norte

### C.5. TEMPERATURA SUPERFICIAL

A temperatura superficial de algumas regiões foi tomada e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 27 e na Tabela 28.

Tabela 27 - Temperaturas sobre a ponte

Local	Temperatura
Asfalto 01 (sombra)	29,0 °C
Asfalto 02 (sol)	39,9 °C
Asfalto 03 (sol)	44,7 °C
Guarda roda	28,1 °C
Barreira metálica	53,0 °C

Tabela 28 - Temperaturas na superestrutura

Local	Temperatura
Face lateral V2 (Sul)	29,1 °C
Fundo da laje (Sul)	30,3 °C

### C.6. UMIDADE SUPERFICIAL

A umidade superficial de algumas regiões foi tomada e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 29 e na Tabela 30.

Tabela 29 - Umidade na superestrutura do lado Sul

Local	Umidade
Fundo da laje (Sul)	51,6% e 38,9%
Face lateral V2 (Sul)	25, 7%
Face lateral V1 (face interna Sul)	27,4%
Face lateral V1 (face externa Sul) (ensaio potencial de corrosão)	77,1% e 79,1%

Tabela 30 - Umidade na laje do lado Norte

Local	Umidade
Laje entre V1 e V2 (próximo a V1)	20,4 %
Laje entre V1 e V2 (próximo a V2)	43,2 %
Laje entre V2 e V3 (próximo a V2)	17,1%
Laje entre V2 e V3 (próximo a V3)	12,4%
Laje entre V3 e V4 (próximo a V3)	12,8%
Laje entre V3 e V4 (próximo a V4)	14,3%