

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANA ELISA BOETTGER**

**ANÁLISE DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PONTES DO BRASIL, ESTADOS  
UNIDOS E JAPÃO APLICADOS A UM ESTUDO DE CASO**

**FLORIANÓPOLIS**

**2018**

**ANA ELISA BOETTGER**

**ANÁLISE DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PONTES DO BRASIL, ESTADOS  
UNIDOS E JAPÃO APLICADOS A UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
ao Departamento de Engenharia Civil da  
Universidade Federal de Santa Catarina para  
a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.  
Orientador: Wellington L. Repette, Dr.

**FLORIANÓPOLIS**

Ana Elisa Boettger

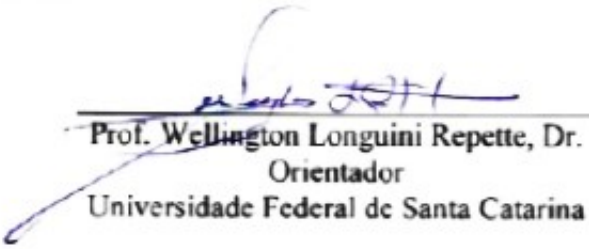
**ANÁLISE DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PONTES DO BRASIL,  
ESTADOS UNIDOS E JAPÃO APLICADOS A UM ESTUDO DE CASO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina foi julgado adequado e aprovado como requisito parcial necessário para obtenção do grau de Engenharia Civil.

Florianópolis, 21 de junho de 2018.

Prof.<sup>a</sup> Luciana Rohde, Dr.<sup>a</sup>  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**



Prof. Wellington Longuini Repette, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo Juan José Oviedo Haito, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a Gabrielle Stumpf (*in  
memorian*).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Solange e Ademir Boettger, pelas suas incessantes batalhas para proporcionar aos filhos uma educação digna e de valor. Aos meus irmãos, Jaqueline, Roland e Bruna, pelo companheirismo; ao meu namorado, Rafael Knih, por ter sido amigo, professor, conselheiro e por ter me apoiado nos momentos mais difíceis desses últimos anos.

Aos professores da escola Dom João Becker, especialmente Nadine Moritz de Oliveira e Paulo Cesar dos Santos; mesmo com os recursos limitados de uma escola pública, sempre deram e esperaram o melhor.

Aos amigos que me acompanharam até aqui, principalmente minha futura sócia, Mariana Padilha Houot, pela amizade de mais de dez anos e por me trazer o riso com a mesma facilidade de quando éramos mais jovens.

Aos profissionais da saúde mental que me ajudaram a chegar até aqui, muito obrigada! A área de trabalho de vocês é maravilhosa.

Aos engenheiros da Caixa Econômica Federal, onde realizei um dos meus estágios; local onde aprendi muito e tive meu primeiro contato com a área de manifestações patológicas. Essa paixão nasceu e foi alimentada graças ao Engenheiro Civil Marco Antônio Lomba; muito obrigada, “Marcão”!

Ao meu orientador Wellington Longuini Repette, pela sua didática como professor e sugestão do tema deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de ter cursado Engenharia Civil.

A Nakao Fumito, pela prestatividade em me ajudar na tradução do material em japonês.

## RESUMO

BOETTGER, Ana Elisa. **Análise dos Métodos de Avaliação de Pontes do Brasil, Estados Unidos e Japão Aplicada à um Estudo de Caso.** Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

O sistema viário brasileiro apresenta um grande número de obras-de-arte especiais em concreto com manifestações patológicas que poderiam ter sido evitadas com inspeções e manutenção periódica. O vigente programa de avaliação de pontes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é aplicado às estruturas inseridas na malha viária federal, sendo que à nível estadual e municipal não existe um sistema de inspeção implementado. É fundamental que o país gerencie melhor e aplique mais recursos na manutenção dessas estruturas, pois quanto mais tarde houver intervenção, mais onerosa será; além do risco ao qual os usuários são expostos. O objetivo do presente trabalho está na comparação dos métodos de avaliação de pontes utilizados pelos Estados Unidos, Japão e Brasil, elencando os prós e contras de cada método e propondo melhorias ao método utilizado no Brasil.

**Palavras-chave:** Inspeção, Avaliação, Manifestações Patológicas, Concreto, Pontes.

## ABSTRACT

BOETTGER, Ana Elisa. **Analysis of the Methods of Bridge Evaluation among Brazil, United States and Japan Applied to a Case Study**. Final paper of the course – Civil Engineering, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

The Brazilian road system presents a great amount of special pieces of art in concrete, which show pathological manifestations that could be avoided through periodical inspections and control. The current program to evaluate bridges of *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes* (DNIT) has been used when it comes to the Federal road system, as it does not exist in the state and municipal one. It is essential that the country manages its resources better as well as invests more to keep the structures working properly, as it will be spent much more if it is noticed too late; besides, that will be a great risk for the ones using it. The objective presented in this work is based on comparing bridge evaluation methods used in the United States, Japan and Brazil, showing the pos and cons of each method and suggesting improvements to the Brazilian one.

**Keywords:** Inspection, Evaluation, Pathologies, Concrete, Bridges.

## LISTA DE SIGLAS

AASHO	– American Association of State Highway Officials
AASHTO	– American Association Of State Highway And Transportation Officials
ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADEs	– Agency Developed Elements
BIRM	– Bridge Inspector's Reference Manual
BME	– Bridge Management Element
BMEs	– Bridge Management Elements
DNER	– Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	– Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FHWA	– Federal Highway Administration
M&R	– Manutenção e Reparos
MLIT	– Método do Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
MLIT	– Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
NBE	– National Bridge Element
NBE'S	– National Bridge Elements
NBI	– National Bridge Inventory
NBIS	– National Bridge Inspection Standards
NBR	– Norma Brasileira
SERPRO	– Serviço Federal de Processamento de Dados
SGO	– Gerenciamento de Obras de Arte



## LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1 – Elementos constituintes de uma ponte .....	20
Figura 2 – Alguns elementos da superestrutura .....	21
Figura 3 – Ponte com encontro.....	24
Figura 4 – Esquema de ponte sem encontro. ....	24
Figura 5 – a: Fissuras por flexão; b: Fissuras por cisalhamento.....	28
Figura 6 – Fissuras de Retração e Temperatura .....	29
Figura 7 – Fissuras de Torção.....	29
Figura 8 – Fissuras por Perda de Aderência e Colapso da Ancoragem da Armadura.....	29
Figura 9 – Fissuras por Corrosão de Armadura.....	29
Figura 10 – Fissuras por Formação de Espaços Vazios ou Poros sob Barras Horizontais .....	30
Figura 11 – Trincas de Ruptura Frágil em Apoios Extremos Mal Posicionados .....	30
Figura 12 – Fissuras e/ou Trincas em Dentes de Articulação: Dependendo da gravidade, há riscos de ruptura frágil.....	30
Figura 13 – Seção longitudinal de Pilar Isolado: Fissuras por Deficiência de Fretagem .....	31
Figura 14 – Seção Transversal de Pilar Isolado: Quebra de Cantos por Falta de Folgas entre Extremidades de Placas e Pilares.....	31
Figura 15 – Pilares Parede e Parcialmente Carregados .....	31
Figura 16 – Fissuras em laje armada em uma direção.....	32
Figura 17 – Lixiviação em Ponte por ausência de elementos de drenagem .....	35
Figura 18 – Nichos de Concretagem em Longarina de Ponte .....	35
Figura 19 – Ponte Silver após desabamento .....	38
Figura 20 - Teste de Fadiga em Amostra de Ponte sem Fissuras Penetrantes .....	49
Figura 21 - Teste de Fadiga em Amostra de Ponte com Fissuras Penetrantes.....	50
Figura 22 – Número de Pontes no Japão por Ano de Construção .....	51
Figura 23 – Matriz de Transição da Classificação dos Danos -Grupo 1 .....	53
Figura 24 – Matriz de Transição da Classificação dos Danos -Grupo 2 .....	54
Figura 25 – Ponte Arthur Schlosser (em destaque) no ano de 1971 .....	61
Figura 26 – Pilar desprendido do tabuleiro da ponte Arthur Schlosser devido à erosão nas fundações .....	62
Figura 27 – Ponte Arthur Schlosser após reforma; orientações geográficas e, também em destaque, pilar reconstruído e blocos de fundação reforçados .....	63
Figura 28 – Laje da ponte apresentando armadura exposta, infiltrações e desprendimento do concreto .....	64

Figura 29 – Transversina com armadura exposta, corrosão, nicho de concretagem e concreto deteriorado .....	65
Figura 30 – Dano por colisão na longarina oeste da ponte.....	66
Figura 31 – Dano por colisão na longarina leste da ponte.....	66
Figura 32 – Dano por colisão em uma das transversinas da ponte.....	67
Figura 33 – Panorama do dano por colisão .....	67
Figura 34 – Desnível significativo no acesso de pedestres da ponte .....	68
Figura 35 – Acesso da ponte com a via; variação abrupta de angulação e alto desnível no acesso de pedestres .....	69
Figura 36 – Encontro sul; em destaque, nicho de concretagem na base da estrutura de contenção de terra.....	70
Figura 37 – Armadura exposta e corroída no peitoril; em destaque, fissura devido à corrosão da barra vertical .....	71
Figura 38 – Topo de pilar sul com nicho de concretagem e armadura exposta .....	72
Figura 39 – Trinca na calçada da ponte .....	73
Figura 40 – Dreno da Ponte.....	73
Figura 41 – Tubulação de Drenagem .....	74
Figura 42 – Suporte das Tubulações .....	74
Figura 43 – Apoio ponte Arthur Schlosser Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).....	75
Figura 44 – Ponte do Guarani.....	98
Figura 45 – Laje sob a passagem de pedestres da Ponte .....	99
Figura 46 – Pontos com eflorescência sobre a laje abaixo da pista.....	99
Figura 47 – Agregados expostos, baixo cobrimento, corrosão e infiltrações na ponte .....	100
Figura 48 – Laje com infiltração e ataque de agentes biológicos.....	101
Figura 49 – Deslocamento do concreto da laje.....	101
Figura 50 – Deformação na laje .....	102
Figura 51 – Longarina com nichos de concretagem.....	103
Figura 52 – Transversina e longarina com armadura exposta e corroída.....	103
Figura 53 – Nicho de concretagem severo em transversina .....	104
Figura 54 – Agentes biológicos que se proliferaram na longarina, e em destaque drenos da ponte.....	105
Figura 55 – Acesso da ponte.....	106
Figura 56 – Talude da ponte .....	107
Figura 57 – Pavimento da ponte com anomalias .....	108
Figura 58 – Buraco severo na ponte .....	108
Figura 59 – Fissuras no peitoril da ponte .....	109

Figura 60 – Pilar da ponte Guarani.....	110
Figura 61 – Bloco de estacas da ponte Guarani; em destaque, esqueleto metálico da estaca exposto.....	111
Figura 62 – Esqueleto metálico da estaca exposto .....	111
Figura 63 – Bloco de fundação com nicho de concretagem e crescimento de vegetação .....	112
Figura 64 – Anormalidades na calçada da ponte .....	113
Figura 65 – Bloco que compõe a calçada com quebras.....	113
Figura 66 – Crescimento de vegetação ao redor da tubulação de drenagem.....	114
Figura 67 – Aparelho de apoio da ponte .....	115
Figura 68 – Queda da ponte em Brusque .....	142
Figura 69 – Pilar descalçado durante a cheia .....	143
Figura 70 – Movimentos efetuados pela correnteza em torno dos pilares de uma ponte.....	144
Figura 71 – Acúmulo de sedimentos no bloco de fundação referente a parte interna da curva - Ponte Arthur Schlosser.....	145
Figura 72 – Planta esquemática de um tapete de enrocamento sobre filtro geotêxtil para proteção da fundação de ponte .....	146
Figura 73 – Enrocamento artificial em pilar de ponte .....	147
Figura 74 – Aparelho defletor de água e entulhos independente da ponte.....	148
Gráfico 1 – Investimento em reabilitação e substituição de pontes por período.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais causas das manifestações patológicas nas estruturas de concreto .....	27
Tabela 2 – Tipos de Inspeção nos Estados Unidos.....	40
Tabela 3 – Classificações de Condição Geral dos Componentes da Ponte.....	42
Tabela 4 – Escala de Avaliação NBI.....	43
Tabela 5 – Classificação de Condição de Pontes no Japão .....	47
Tabela 6 – Classificação da Manutenção e Reparo .....	47
Tabela 7 – Danos Prescritos de Acordo com o Material .....	48
Tabela 8 – Extensão da Aparência de Danos para Fissuras de Concreto na Laje do Tabuleiro.....	52
Tabela 9 – Descrição das Notas de Avaliação de Pontes .....	59
Tabela 10 – Avaliação dos Elementos da Ponte Arthur Schlosser pelo método DNIT .....	76
Tabela 11 – Ações Viáveis para cada grau de condição do elemento genérico de Concreto Armado .....	79
Tabela 12 – Tabela Orientativa para Classificação dos Danos de Elementos em Concreto Armado.....	79
Tabela 13 – Avaliação do elemento laje pelo método AASHTO.....	80
Tabela 14 – Avaliação das Longarinas e Transversinas pelo método AASHTO.....	81
Tabela 15 – Avaliação dos Pilares pelo método AASHTO.....	81
Tabela 16 – Ações Viáveis para cada grau de condição do elemento de Pedra ou Bloco .....	82
Tabela 17 – Tabela Orientativa para Classificação dos Danos de Elementos em Pedra ou Bloco.....	82
Tabela 18 – Avaliação do Encontro em Muro de Arrimo pelo método AASHTO .....	83
Tabela 19 – Avaliação do Encontro de Concreto Armado pelo método AASHTO.....	83
Tabela 20 – Avaliação dos Blocos de Concreto pelo método AASHTO.....	84
Tabela 21 – Avaliação dos Blocos das estacas pelo método AASHTO.....	84
Tabela 22 – Avaliação dos apoios pelo método AASHTO .....	85
Tabela 23 – Avaliação do Peitoril pelo método AASHTO .....	85
Tabela 24 – Avaliação dos Acessos pelo método AASHTO .....	86
Tabela 25 – Tabela Orientativa para Classificação dos danos em Pavimentos.....	86
Tabela 26 – Avaliação do Pavimento pelo método AASHTO .....	87
Tabela 27 – Tabela de Classificação da Ponte de acordo com o Meio Ambiente.....	88
Tabela 28 – Danos Prescritos para as Pontes do Estudo de Caso.....	89
Tabela 29 – Avaliação das Vigas da Ponte pelo Método MLIT .....	91

Tabela 30 – Avaliação da Laje da Ponte pelo Método MLIT .....	92
Tabela 31 – Avaliação dos Pilares da Ponte pelo Método MLIT .....	93
Tabela 32 – Avaliação do Peitoril da Ponte pelo Método MLIT .....	94
Tabela 33 – Avaliação do meio-fio e calçadal da Ponte pelo Método MLIT .....	95
Tabela 34 – Avaliação do Pavimento da Ponte pelo Método MLIT .....	96
Tabela 35 – Avaliação dos Encontros da Ponte pelo Método MLIT (MLIT, 2004).....	97
Tabela 36 – Avaliação da ponte do Guarani pelo método DNIT .....	116
Tabela 37 – Avaliação do elemento laje pelo método AASHTO.....	118
Tabela 38 – Avaliação das longarinas e transversinas pelo método AASHTO .....	119
Tabela 39 – Avaliação dos Taludes pelo método AASHTO.....	120
Tabela 40 – Avaliação dos blocos de fundação pelo método AASHTO.....	120
Tabela 41 – Avaliação das estacas pelo método AASHTO .....	121
Tabela 42 – Avaliação dos apoios pelo método AASHTO .....	121
Tabela 43 – Avaliação do peitoril pelo método AASHTO .....	122
Tabela 44 – Avaliação dos acessos pelo método AASHTO .....	122
Tabela 45 – Avaliação do pavimento pelo método AASHTO .....	123
Tabela 46 – Avaliação das vigas da ponte pelo método MLIT .....	124
Tabela 47 – Avaliação da laje da ponte pelo método MLIT .....	125
Tabela 48 – Avaliação da fundação da ponte pelo método MLIT .....	127
Tabela 49 – Avaliação do peitoril da ponte pelo método MLIT .....	128
Tabela 50 – Avaliação do meio-fio e calçada da ponte pelo método MLIT .....	128
Tabela 51 – Avaliação do pavimento da ponte pelo método MLIT .....	129
Tabela 52 – Avaliação da drenagem da ponte pelo método MLIT .....	130

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1 OBJETIVOS.....	18
1.1.1 Objetivo geral .....	18
1.1.2 Objetivos específicos .....	18
1.1.3 Justificativa .....	19
<b>2 ELEMENTOS DE UMA PONTE .....</b>	<b>20</b>
2.1 SUPERESTRUTURA .....	20
2.2 MESOESTRUTURA .....	22
2.3 INFRAESTRUTURA .....	22
2.3.1 Fundações Diretas.....	22
2.3.2 Fundações Profundas .....	23
2.4 ENCONTROS .....	23
<b>3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO</b>	<b>26</b>
3.1 FISSURAÇÃO .....	28
3.2 CORROSÃO DAS ARMADURAS.....	32
3.3 DESAGREGAÇÕES.....	33
3.4 CARBONATAÇÃO.....	33
3.5 REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO .....	34
3.6 DESGASTE DA SUPERFÍCIE .....	34
3.7 LIXIVIAÇÃO .....	34
3.8 VAZIOS DE CONCRETAGEM.....	35
3.9 PERDA DE ADERÊNCIA .....	36
3.10 DANOS DE COLISÕES.....	36
<b>4 INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE PONTES NOS ESTADOS UNIDOS, JAPÃO E BRASIL .....</b>	<b>37</b>
4.1 ESTADOS UNIDOS .....	37
4.1.1 Inspeção de Pontes nos Estados Unidos .....	37
4.1.2 Avaliação de Pontes nos Estados Unidos .....	41
4.2 JAPÃO.....	45
4.2.1 Inspeção de Pontes no Japão.....	45
4.2.2 Avaliação de Pontes no Japão.....	46
4.3 BRASIL.....	54
4.3.1 Inspeção de Pontes no Brasil .....	54
4.3.2 Avaliação de Pontes no Brasil .....	58
<b>5 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO NAS PONTES DO ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>60</b>
5.1 PONTE ARTHUR SCHLOSSER .....	60
5.1.1 Laje .....	63
5.1.2 Longarinas e Transversinas .....	64
5.1.3 Acessos .....	68
5.1.4 Encontros .....	69

5.1.5	Pavimento .....	70
5.1.6	Peitoril.....	70
5.1.7	Pilares .....	71
5.1.8	Infraestrutura.....	72
5.1.9	Calçadas .....	72
5.1.10	Sistema de Drenagem .....	73
5.1.11	Suporte das Tubulações .....	74
5.1.12	Apoios.....	75
5.1.13	Outros .....	75
5.2	AVALIAÇÃO DA PONTE ARTHUR SCHLOSSER PELO MÉTODO DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DO BRASIL.....	76
5.3	AVALIAÇÃO DA PONTE ARTHUR SCHLOSSER PELO MÉTODO DA AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) – ESTADOS UNIDOS.....	78
5.3.1	Avaliação dos Elementos definidos como <i>National Bridge Elements</i> (NBE).....	80
5.3.2	Avaliação dos Elementos definidos como <i>Bridge Management Elements</i> (BME) .....	85
5.4	AVALIAÇÃO DA PONTE ARTHUR SCHLOSSER PELO MÉTODO DO MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE, TRANSPORT AND TOURISM (MLIT) – JAPÃO	
	89	
5.5	PONTE DO GUARANI.....	98
5.5.1	Laje .....	98
5.5.2	Longarinas e Transversinas .....	102
5.5.3	Acessos .....	105
5.5.4	Proteção do Talude .....	106
5.5.5	Pavimento .....	107
5.5.6	Peitoril.....	109
5.5.7	Pilares .....	109
5.5.8	Infraestrutura.....	110
5.5.9	Calçadas .....	112
5.5.10	Sistema de Drenagem .....	114
5.5.11	Apoios.....	114
5.5.12	Outros .....	115
5.6	AVALIAÇÃO DA PONTE DO GUARANI PELO MÉTODO DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DO BRASIL.....	115
5.7	AVALIAÇÃO DA PONTE DO GUARANI PELO MÉTODO DA AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) – ESTADOS UNIDOS .....	118
5.7.1	Avaliação dos Elementos definidos como <i>National Bridge Elements</i> (NBE) .....	118
5.7.1	Avaliação dos Elementos definidos como <i>Bridge Management Elements</i> (BME) ....	122
5.7.2	Avaliação da Ponte Guarani pelo Método do <i>Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism</i> (MLIT) – Japão .....	124
<b>6</b>	<b>COMPARAÇÃO E DISCUSSÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PONTES APLICADOS AO ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>132</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÕES PARA O MÉTODO DNIT .....</b>	<b>135</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>136</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>138</b>
<b>APÊNDICE A – Interdição da Ponte Arthur Schlosser .....</b>	<b>142</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho compara os métodos de avaliação de pontes do Japão, Estados Unidos e Brasil, aplicando a um estudo de caso de duas pontes localizadas na cidade de Brusque, elencando os prós e contras de cada método. Vale ressaltar que o município de Brusque não possui um programa de inspeção e manutenção de pontes, logo para essa comparação será utilizado o método das vias federais brasileiras, estabelecido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

O DNIT segue o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, de sua autoria, com última revisão em 2004. Vale destacar que no Brasil também existe a norma NBR 9452 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento (ABNT, 2016); esta norma se aplica a estruturas que não são públicas ou estão sob concessão, e nesta norma estão contempladas algumas melhorias que são apresentadas no decorrer do trabalho. A NBR 9452 segue o mesmo método de avaliação de pontes do DNIT, com base em notas, porém além de considerar os parâmetros estruturais, também leva em conta parâmetros funcionais (como drenagem, condições das pistas e juntas), assim como a relevância do elemento no sistema estrutural, que pode ser principal, secundária ou complementar. Apesar da NBR 9452 ser mais recente e conter diretrizes que refletem um resultado mais realista, a última revisão do DNIT do seu manual de base para as inspeções e avaliações de pontes data de 2004; com base nisto justifica-se a escolha do tema deste trabalho ser com base no método do DNIT.

Segundo classificação da Norma DNIT 010/2004, uma ponte é uma estrutura, incluindo seus apoios, construída sobre uma depressão ou uma obstrução, tais como água, rodovia ou ferrovia, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, medido ao longo do eixo da rodovia, de mais de seis metros. Ficam incluídos nesta definição viadutos, passagens superiores e passagens inferiores

A rede rodoviária brasileira é composta por pontes de diferentes idades, projetadas e dimensionadas segundo critérios que sofreram alterações ao longo do tempo, e sujeitas, na maioria dos casos, a solicitações de tráfego crescentes devido ao expressivo aumento na malha rodoviária. As primeiras normas brasileiras relacionadas ao cálculo e execução de estruturas de concreto armado abrangiam obras com diferentes trens-tipo, 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 atualmente desatualizados. Este conjunto heterogêneo de obras, envelhecidas e degradadas, deve ser

cuidadosa e regularmente inspecionado, para que sejam avaliadas capacidade de carga, segurança e conforto que oferecem aos usuários e as necessidades de manutenção e melhoramentos (DNIT, 2004).

As inspeções se fazem necessárias nas pontes para, além de garantir segurança e conforto ao usuário, não gerarem um quadro demasiadamente oneroso em caso de reparo da estrutura; quanto maior o tempo de manutenção, mais os reparos serão trabalhosos e custosos. Do ponto de vista econômico, Helene (1997) ressalta que os custos de intervenção na estrutura, para atingir um certo nível de durabilidade e proteção, crescem exponencialmente quanto mais tarde for essa intervenção. Visto que a falta de recursos públicos muitas vezes dificulta a conservação das rodovias brasileiras e das suas obras de arte especiais, é imprescindível que se invista mais em manutenção, pois isso reduz os gastos com esse setor, além de preservar a segurança dos usuários.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem por objetivo estudar os métodos de avaliação e classificação da condição estrutural de pontes de concreto armado utilizados no Brasil, Estados Unidos e no Japão, e compará-los visando propor melhorias ao método atualmente empregado pelo DNIT, bem como destacar as vantagens e desvantagens de cada método. Não fazem parte do escopo do trabalho os ensaios utilizados nas inspeções e os procedimentos de reparos que devem ser adotados para reestabelecer o funcionamento das pontes. As inspeções efetuadas nas pontes do estudo de caso foram apenas visuais.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Aplicar os métodos de avaliação das condições de conservação das pontes utilizado pelo DNIT, pelo Estados Unidos e pelo Japão nas pontes do estudo de caso.
- Comparar o resultado das avaliações das pontes.
- Propor melhorias ao método atualmente empregado pelo DNIT.

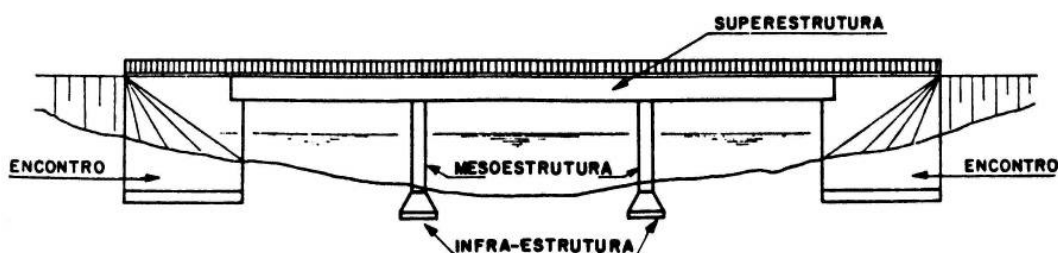
### 1.1.3 Justificativa

No Brasil, o foco das políticas públicas de infraestrutura tem sido a construção de obras, sendo que não é dada a importância merecida para os trabalhos de manutenção; trabalhos estes que geram economia para o país e segurança para os usuários. Diversas fatalidades relacionadas à falta de manutenção e reparos em obras e obras de arte especiais poderiam ter sido evitadas; a necessidade de manter é tão importante quanto a necessidade de construir.

Com a degradação de muitas obras de arte especiais e a evolução de métodos internacionais para a avaliação de pontes, é útil se basear nesses métodos para aprimorar o método do DNIT, que é de 2004 mas pode ter aperfeiçoamentos que visam refletir melhor a condição das pontes. Sendo assim, uma análise do atual método de avaliação das pontes é uma abordagem interessante para o aprimoramento das metodologias nacionais utilizadas.

## 2 ELEMENTOS DE UMA PONTE

Segundo Pfeil (1983, p. 9), as pontes são constituídas por quatro partes, sendo estas: a superestrutura, a mesoestrutura, a infra-estrutura, e os encontros, conforme Figura 1.



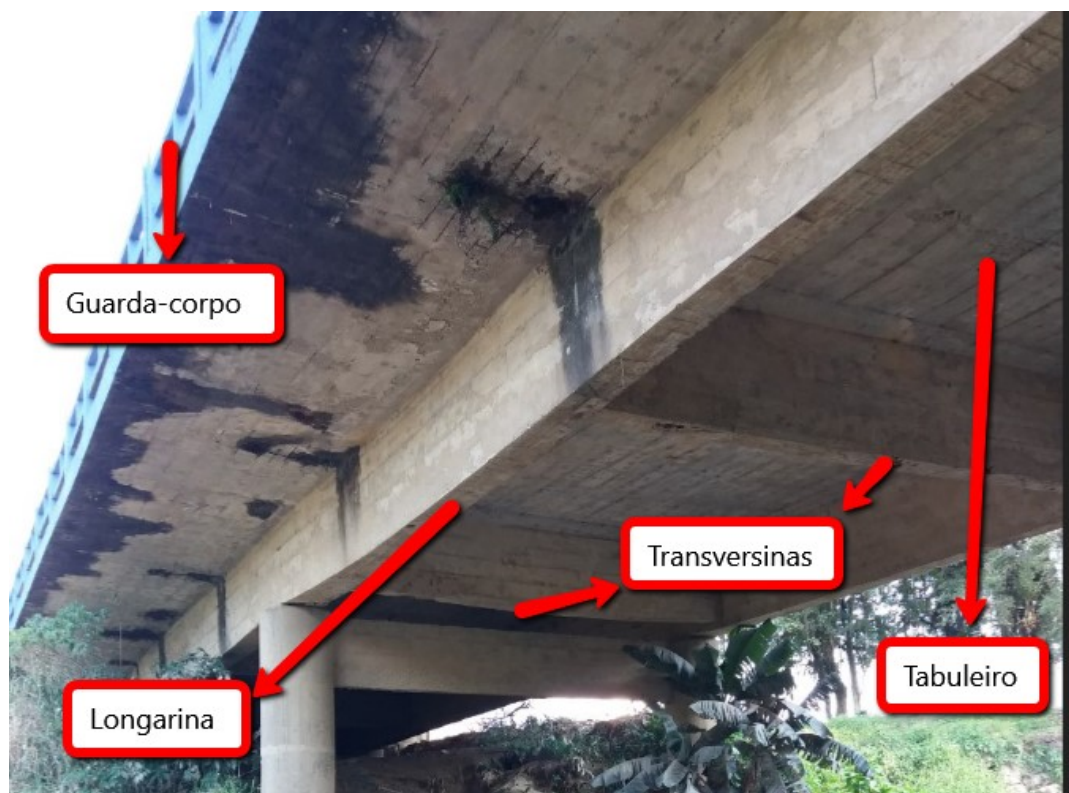
**Figura 1** – Elementos constituintes de uma ponte

Fonte: Pfeil (1983, p. 9).

As funções destes elementos são descritas conforme segue.

### 2.1 SUPERESTRUTURA

A superestrutura é o componente da ponte que suporta o estrado (ou tabuleiro) e todas as cargas nele aplicadas. A função estrutural da superestrutura é a de transmitir as cargas do estrado, ao longo dos vãos, para os apoios DNIT (2004), sendo o estrado a parte que serve de apoio imediato aos elementos estruturais e utilitários com função viária, incluindo a laje do tabuleiro, pista de rolamento, as vigas (longarinas e transversinas), barreira de proteção para veículos, guarda-corpo, juntas, entre outros.



**Figura 2** – Alguns elementos da superestrutura

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

De acordo com a caracterização da superestrutura, o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT classifica as pontes em três tipos básicos:

- **Pontes em Viga:** quando transmitem as cargas aos apoios através de solicitações de compressão; podem ser:
  - Pontes em laje, de concreto armado ou protendido.
  - Pontes em viga, de madeira, de concreto ou de aço.
  - Pontes em caixão, de concreto ou de aço.
  - Pontes em treliça, de madeira ou de aço.
- **Pontes em Arco:** quando transmitem as cargas através de solicitações inclinadas, de compressão; podem ser construídas em madeira, em concreto ou em aço. As solicitações nos arcos são, inteira ou predominantemente, de compressão.
- **Pontes Pênses e Pontes Estaiadas:** as solicitações de tração dos cabos de suspensão são transmitidas às ancoragens na infraestrutura, depois de provocar solicitações de compressão nas torres intermediárias.

## 2.2 MESOESTRUTURA

A mesoestrutura é composta pelos elementos estruturais comprometidos na sustentação da superestrutura, sendo responsável pela transmissão das cargas da superestrutura para a infraestrutura. É composta basicamente pelos pilares e aparelhos de apoio, sendo este último responsável por interligar a mesoestrutura à superestrutura. Vale ressaltar que alguns autores não separam a definição da mesoestrutura e infraestrutura, ficando assim, os componentes da mesoestrutura englobados no conjunto de infraestrutura.

## 2.3 INFRAESTRUTURA

De acordo com Pfeil (1983, p. 10), a infraestrutura de uma ponte transfere para o solo as cargas da estrutura. A infraestrutura compreende as fundações utilizadas na estrutura, sendo que estas podem ser diretas ou profundas, conforme descrito a seguir.

### 2.3.1 Fundações Diretas

Nesse tipo de fundação a carga é transmitida ao terreno predominantemente pelas tensões distribuídas sob a base do elemento estrutural de fundação, quando o solo imediatamente abaixo deste elemento é capaz de suportar as cargas (adaptado de CINTRA et al, 2011). As fundações diretas, apesar de algumas vezes serem denominadas de fundações superficiais, têm sua profundidade mínima regulada pelo Item 6.4.2 da NBR 6122/1996, Projeto e Execução de Fundações, transcrito a seguir (DNIT, 2004):

"A base de uma fundação deve ser assente a uma profundidade tal que garanta que o solo de apoio não seja influenciado pelos agentes atmosféricos e fluxos d'água. Nas divisas com terrenos vizinhos, salvo quando a fundação for assente sobre rocha, tal profundidade não deve ser inferior a 1,5m" DNIT, 2004.

Exemplos de fundações diretas são as sapatas (sapatas isoladas, sapatas associadas, vigas de fundação e sapatas corridas), os blocos e os radiers.

### 2.3.2 Fundações Profundas

As fundações profundas, ou indiretas, são constituídas pelas estacas e pelos tubulões, e transmitem indiretamente a carga ao solo (LENCIONI, 2005). Segundo o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT, os principais tipos de fundações utilizados em pontes são:

- Estacas Cravadas: Estacas de madeira; estacas de aço; estacas pré-moldadas de concreto armado.
- Estacas Moldadas in Loco: Estacas tipo Franki; estacas escavadas com uso de lama bentonítica; estacas escavadas, com injeção; microestacas e estacas tipo raiz; estacas mistas.
- Tubulões: Tubulões não revestidos; tubulões revestidos com camisa de concreto; tubulões revestidos com camisa de aço.

## 2.4 ENCONTROS

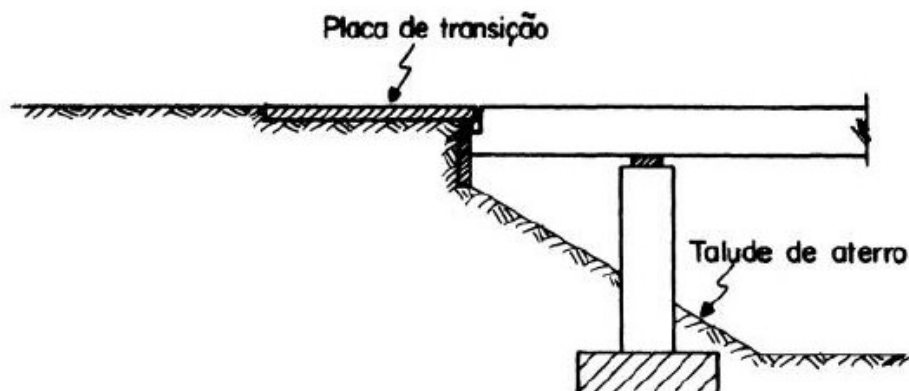
De acordo com Pfeil (1983, p. 10), os encontros são elementos construtivos de transição entre a estrutura da ponte e o terrapleno, permitindo a integração da obra-de-arte com o terrapleno; são utilizados para proteger as extremidades do aterro contra erosão e absorver os esforços horizontais aplicados no tabuleiro (decorrentes da frenagem dos veículos) e servem de apoio para o estrado/tabuleiro.



**Figura 3** – Ponte com encontro

Fonte: TENSAR (2017).

Já o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), define os encontros como elementos que suportam as extremidades das pontes, ao mesmo tempo que arrimam os acessos rodoviários.



**Figura 4** – Esquema de ponte sem encontro.

Fonte: Mason (1977, p. 160).

Por razões econômicas, no Brasil somente as obras mais importantes têm encontros; na grande maioria das obras, os encontros são substituídos por superestruturas com extremos em balanço e aterros em queda livre, conforme Figura 4. Muitas vezes estes aterros se encontram mal compactados e sem as proteções adequadas; o funcionamento deste conjunto heterogêneo,



aterro / obra-de-arte, embora modernamente melhorado com a utilização de lajes de transição, é sempre deficiente: há assentamentos dos aterros de acesso, com os consequentes choques dos veículos na entrada das pontes (adaptado de DNIT, 2004).

### **3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO**

As manifestações patológicas em uma estrutura de concreto armado podem ter sua origem associada ao projeto, execução e uso inadequado. Por exemplo, em um projeto que não considera adequadamente a agressividade do ambiente, o cobrimento pode ser projetado com um valor inferior ao necessário; uma falha na execução pode ocorrer pelo uso de materiais inapropriados ou na concretagem, onde podem surgir nichos caso o concreto seja inadequadamente adensado; o uso inapropriado ocorre quando há uma sobrecarga exagerada ou ausência de manutenção preventiva, que pode agravar as anomalias já existentes e/ou causar novas manifestações. Além das causas aqui citadas, a origem também pode estar associada à fatores naturais e acidentais; a tabela a seguir ilustra as principais causas das manifestações patológicas em estruturas de concreto.

**Tabela 1** – Principais causas das manifestações patológicas nas estruturas de concreto

CAUSAS HUMANAS	FASE DE PROJETO	Inadequação do projeto ao ambiente. Má concepção estrutural do projeto. Projeto incompleto. Erros de cálculo e ou detalhamento. Modelo de análise inadequado. Especificação de materiais inadequados.
	FASE DE EXECUÇÃO	Adoção de materiais inadequados ou de baixa qualidade. Despreparo técnico para a execução. Execução em desacordo com o projeto. Negligência na execução.
	FASE DE UTILIZAÇÃO	Sobrecargas excessivas. Falta de programa de manutenção.
CAUSAS NATURAIS	DEGRADAÇÃO FÍSICA DOS MATERIAIS	Ação da temperatura, do vento, da chuva, da abrasão, da vibração, etc.
	DEGRADAÇÃO QUÍMICA DOS MATERIAIS	Presença de águas agressivas ou puras, sulfatos, sais, oxigênio; processo de carbonatação do concreto.
	DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA DOS MATERIAIS	Agentes vegetais: ação de fungos e raízes. Agentes animais: ação de esgotos e dejetos animais.
CAUSAS ACIDENTAIS		Enchentes, choques, incêndios, recalques, deslizamentos de terra, explosões, etc.

Fonte: Lencioni (2005, p. 80).

De acordo com a Norma do DNIT (2004), existem três tipos de defeitos, sendo estes:

- 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

O Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004) elenca as principais manifestações patológicas em pontes de concreto armado, sendo estas descritas a seguir.

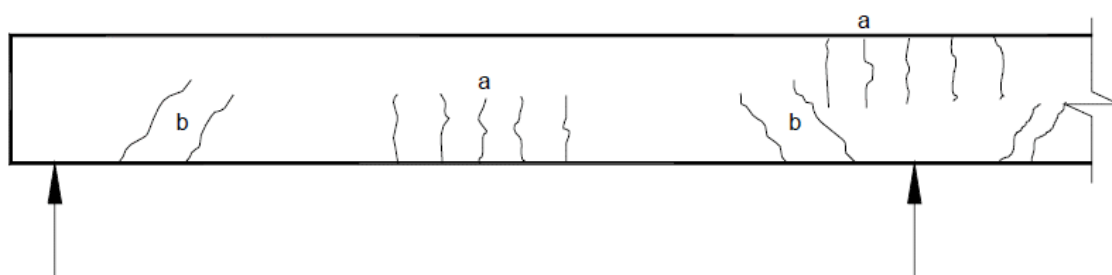
### 3.1 FISSURAÇÃO

De acordo com Lencioni (2005, p. 83), os tipos mais comuns de fissuras são geralmente divididos em dois grupos: o das causas intrínsecas e o das causas extrínsecas. Causas intrínsecas são os processos de degradação do concreto que têm origem na própria estrutura, isto é, origem nos materiais e processos construtivos utilizados na obra. Já as causas extrínsecas são fatores externos de agressão ao concreto, como sobrecargas durante o uso da estrutura, choques mecânicos, ventos e pluviosidade, entre outros.

As fissuras também podem ser divididas em estáticas ou dinâmicas, sendo as estáticas as fissuras que não estão em movimentação, com as tensões de tração já cessadas, e as dinâmicas fissuras que ainda estão sob tensão, tendo sua abertura variando com o tempo.

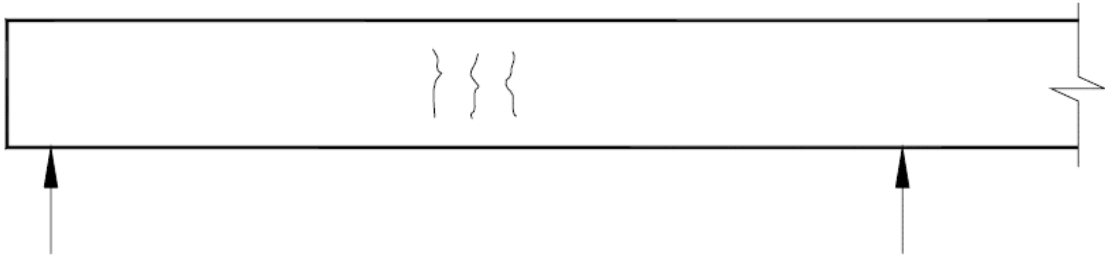
Segundo o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), as fissuras podem ser classificadas como capilares, médias ou grandes; estas últimas, se ultrapassarem a abertura de 0,5mm, devem ser consideradas trincas; as fissuras capilares, que não reduzem a capacidade da estrutura, não precisam ser registradas; as fissuras médias e grandes e todas as fissuras em estruturas de concreto protendido, devem ser mapeadas no comprimento, na largura, na localização e na orientação.

Uma análise e interpretação das fissuras diz muito sobre as tensões a que a ponte está submetida, portanto é importante reconhecer estas tensões de acordo com a posição, orientação e extensão dessas fissuras. O Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004) ilustra os principais tipos de fissuras, que serão apresentadas nas figuras a seguir.



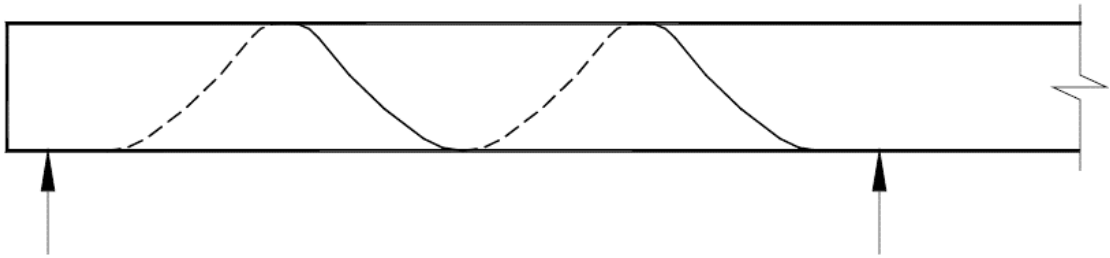
**Figura 5** – a: Fissuras por flexão; b: Fissuras por cisalhamento

Fonte: DNIT (2004).



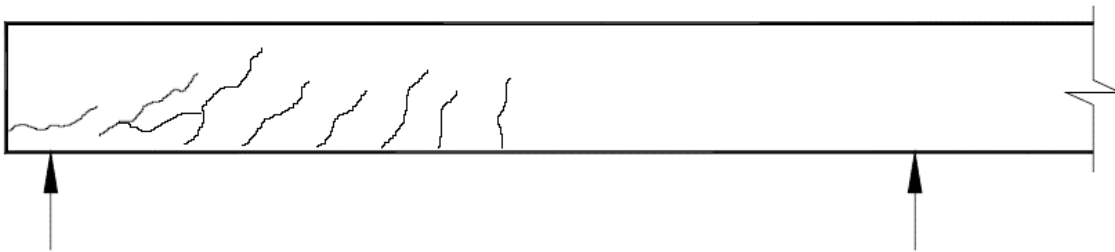
**Figura 6** – Fissuras de Retração e Temperatura

Fonte: DNIT (2004).



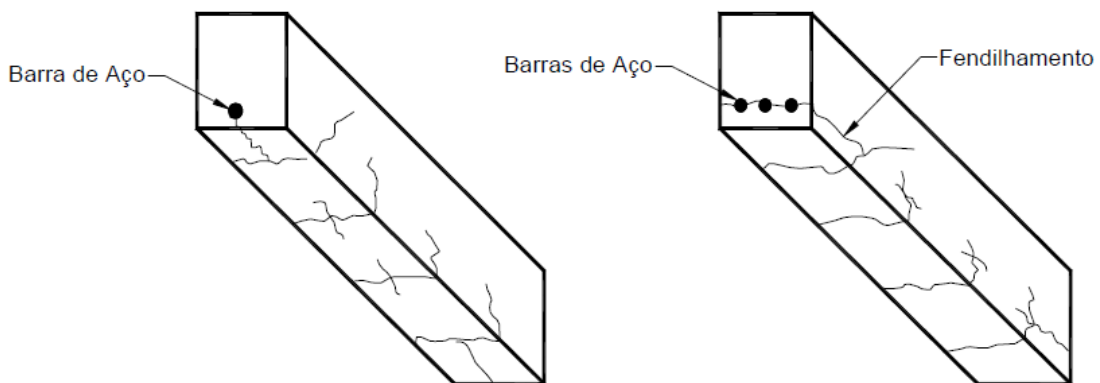
**Figura 7** – Fissuras de Torção

Fonte: DNIT (2004).



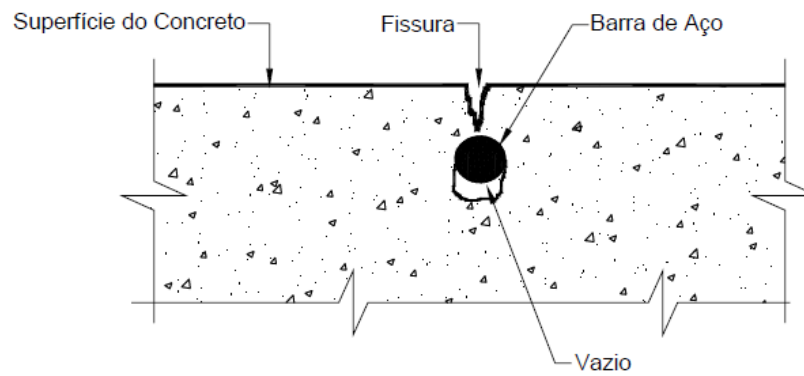
**Figura 8** – Fissuras por Perda de Aderência e Colapso da Ancoragem da Armadura

Fonte: DNIT (2004).



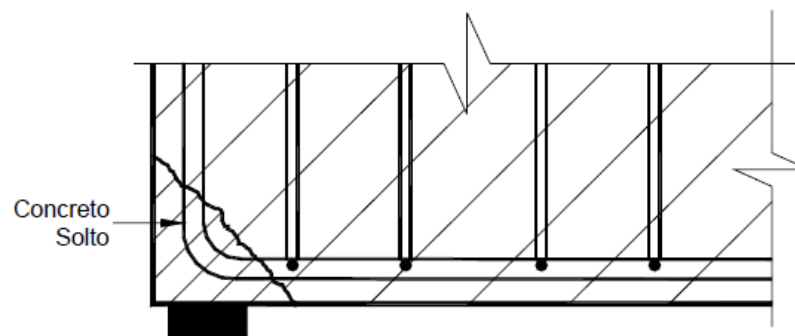
**Figura 9** – Fissuras por Corrosão de Armadura

Fonte: DNIT (2004).



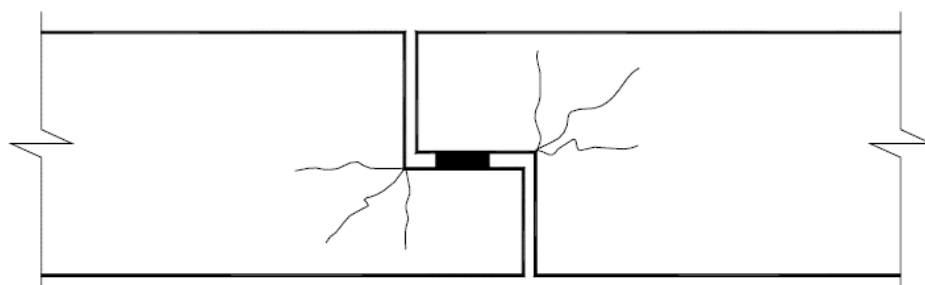
**Figura 10** – Fissuras por Formação de Espaços Vazios ou Poros sob Barras Horizontais

Fonte: DNIT (2004).



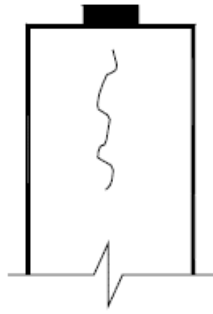
**Figura 11** – Trincas de Ruptura Frágil em Apoios Extremos Mal Posicionados

Fonte: DNIT (2004).



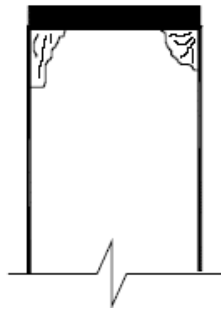
**Figura 12** – Fissuras e/ou Trincas em Dentes de Articulação: Dependendo da gravidade, há riscos de ruptura frágil

Fonte: DNIT (2004).



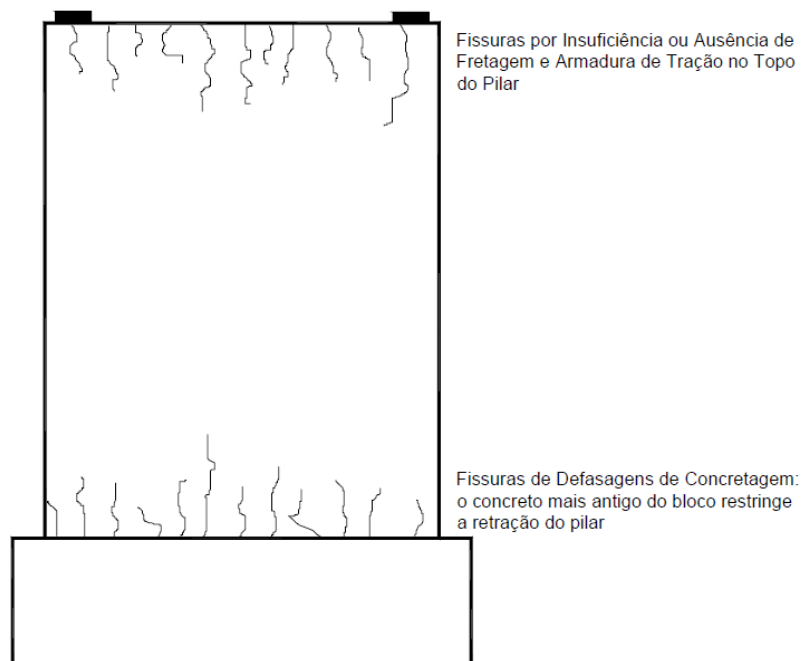
**Figura 13** – Seção longitudinal de Pilar Isolado: Fissuras por Deficiência de Fretagem

Fonte: DNIT (2004).



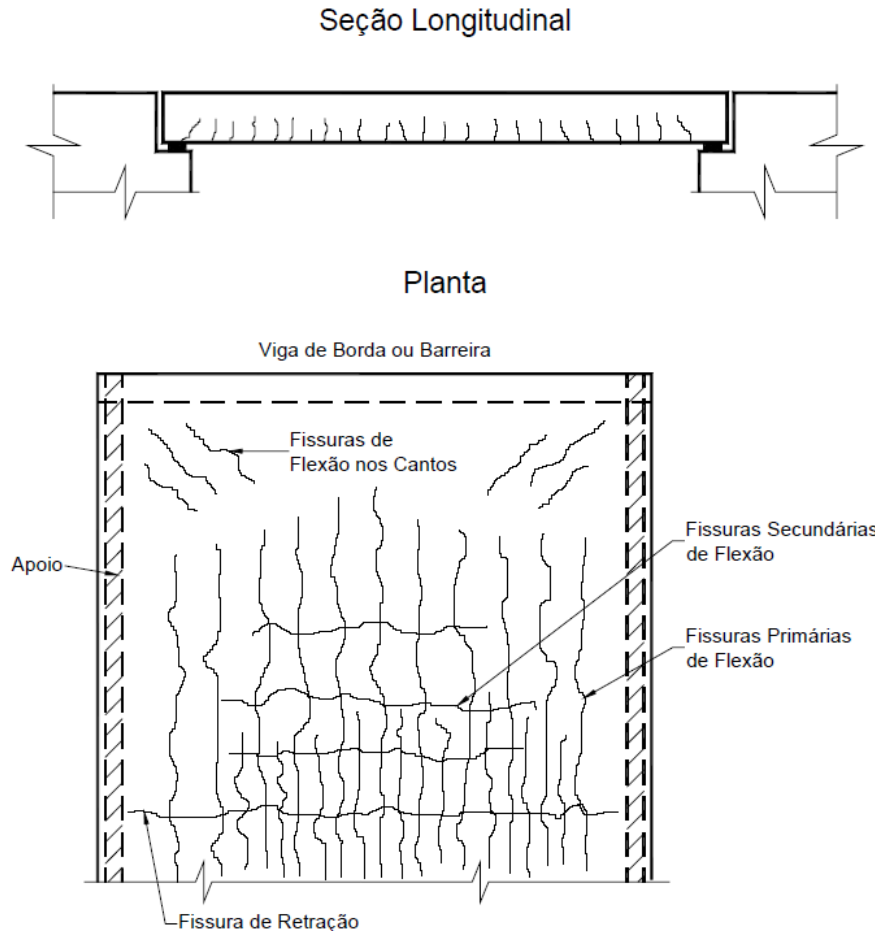
**Figura 14** – Seção Transversal de Pilar Isolado: Quebra de Cantos por Falta de Folgas entre Extremidades de Placas e Pilares

Fonte: DNIT (2004)



**Figura 15** – Pilares Parede e Parcialmente Carregados

Fonte: DNIT (2004).



**Figura 16** – Fissuras em laje armada em uma direção

Fonte: DNIT (2004).

### 3.2 CORROSÃO DAS ARMADURAS

De acordo com o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), a corrosão é, basicamente, a deterioração do aço por ação química ou eletroquímica. A princípio, as armaduras das estruturas de concreto armado estão protegidas contra a corrosão; essa proteção é proporcionada pelo cobrimento, que forma uma barreira física contra o ingresso dos agentes externos (água, oxigênio e agentes químicos agressivos). Também estão passivadas pela barreira química, que é proporcionada pela alta alcalinidade presente no concreto, porém agentes agressivos como sulfetos, cloretos, dióxido de carbono, óxidos de enxofre, fuligem e outros, podem provocar a quebra da película de passivação do aço, dando início ou acelerando o processo de corrosão da armadura (HELENE, 1986). A água, o oxigênio e os agentes agressivos citados anteriormente desempenham um papel importante na corrosão das armaduras, por isso é importante limitar e controlar a presença desses elementos na estrutura;



permeabilidade adequada no concreto, níveis máximos de cloreto no cimento, projetar e executar o revestimento adequado de acordo com a região e sua agressividade, bem como efetuar adensamento e cura adequados na execução do concreto são procedimentos que ajudam a evitar a corrosão dessas armaduras. Além dos cuidados citados em projeto e execução, é importante o trabalho de recuperação para estruturas corroídas, pois se trata de um processo espontâneo, que se não for tratado irá agravar e comprometer a estrutura cada vez mais.

### **3.3 DESAGREGAÇÕES**

A desagregação é um dos sintomas característicos da existência de ataque químico (BAUER, 2009). De acordo com o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), o fenômeno da desagregação se inicia na superfície dos elementos do concreto, por uma mudança de coloração; segue-se um aumento na abertura das fissuras e de um empolamento das camadas externas do concreto; finalmente, acontece a desintegração da massa do concreto, com seus materiais componentes perdendo a coesão e, o conjunto, a sua resistência.

### **3.4 CARBONATAÇÃO**

Na carbonatação do concreto, o valor do pH da água do extrato aquoso presente nos poros do concreto diminui, formando a frente de carbonatação. Esta frente avança em direção ao interior do concreto e quando alcança a armadura afeta a alcalinidade da camada passivadora (que protege a armadura contra a corrosão), causando despassivação do aço. Esse processo ocorre porque os compostos do cimento hidratado reagem com o gás carbônico, gerando os carbonatos (adaptado de DNIT, 2004). As fissuras favorecem a entrada de gás carbônico, e após a despassivação da armadura, se houverem condições favoráveis, haverá corrosão no aço.

### **3.5 REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO**

A reação álcali-agregado, de acordo com Mehta e Monteiro (1994), é uma reação química entre os álcalis do cimento (podendo também ser proveniente de outras fontes) e alguns minerais reativos presentes nos agregados. A reação tem como resultado um gel de silicato e álcali, e o surgimento de uma alteração dos bordos do agregado (LENCIONI, 2005). É necessário a existência de umidade para que a reação ocorra; o gel formado na reação absorve água e expande, gerando tensões que fissuram o concreto e destroem a pasta. A expansão progride nas direções de menor resistência, originando fissuras paralelas à superfície e na direção dos esforços de compressão; essa expansão pode também ser gerada pelo efeito do aumento da pressão hidráulica gerada pelo fenômeno de osmose (adaptado de CÁNOVAS, 1994).

### **3.6 DESGASTE DA SUPERFÍCIE**

O desgaste da superfície de concreto pode ocorrer devido ao uso continuado nas pistas de rolamento de uma ponte, assim como nos elementos da meso e infraestrutura, com a abrasão causada por partículas carregadas pela correnteza (DNIT, 2004).

### **3.7 LIXIVIAÇÃO**

A lixiviação do concreto é a consequência da incidência de água na estrutura, resultando na lavagem dos compostos solúveis resultantes da hidratação do cimento. Além da perda de resistência, a lixiviação do hidróxido de cálcio do concreto interage com o dióxido de carbono presente no ar e resulta na precipitação superficial de crostas brancas de carbonato de cálcio, um fenômeno conhecido por eflorescência (MEHTA e MONTEIRO, 1994).



**Figura 17** – Lixiviação em Ponte por ausência de elementos de drenagem  
Fonte: Julia Wippich Lencioni (2004).

### **3.8 VAZIOS DE CONCRETAGEM**

Os vazios (ou nichos) de concretagem são falhas no concreto ocasionadas pela vibração ou adensamento inadequado do concreto; também pode ser por erro no detalhamento da armadura, não considerando o espaçamento disponível e o diâmetro dos agregados, por exemplo (adaptado de DNIT, 2004).



**Figura 18** – Nichos de Concretagem em Longarina de Ponte  
Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

Os nichos de concretagem afetam a durabilidade e resistência da estrutura, além de comprometer a estética. Em casos mais severos, essas falhas de concretagem podem expor as armaduras, provocando sua corrosão e até mesmo o colapso da estrutura (adaptado de TÉCHNE, 2006).

### **3.9 PERDA DE ADERÊNCIA**

A perda de aderência pode ocorrer entre concretos de diferentes idades ou entre o concreto e a armadura. Ao concretar sobre um elemento já existente, é necessário fazer uma preparação para que esses concretos atuem monoliticamente, garantindo assim, a aderência (adaptado de DNIT, 2004). Já entre o concreto e a armadura o comportamento da aderência envolve descontinuidades como as fissuras e, conseqüentemente, deslocamentos relativos entre a armadura e o concreto; assim sendo, as deformações do aço e do concreto não são exatamente iguais. A aderência entre concreto e armadura depende de vários fatores, como as características do concreto, tipo e geometria da nervura da armadura, comprimento de ancoragem, posição da armadura em relação à concretagem, repetição do carregamento, entre outros (adaptado de FERNANDES, 2000).

### **3.10 DANOS DE COLISÕES**

Danos de colisões que não são devidamente tratados após o impacto, abrem precedentes para manifestações patológicas. Segundo o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), também se enquadram como danos de colisões veículos com gabarito superior ao permitido, o excesso de carga transportado por alguns caminhões e embarcações em rios navegáveis que atingem a estrutura.

## **4 INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE PONTES NOS ESTADOS UNIDOS, JAPÃO E BRASIL**

Nos Estados Unidos, o órgão que regulamenta a inspeção das pontes a nível nacional é o *Federal Highway Administration (FHWA)*, no Japão é o *Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT)* e no Brasil é o Departamento Nacional de Infraestruturas e Transportes (DNIT). Serão explanadas a seguir a situação das inspeções e avaliações para cada país.

### **4.1 ESTADOS UNIDOS**

Nos Estados Unidos existe um programa de inspeção e avaliação de pontes a nível federal, regulamentado pela FHWA, porém os estados têm a liberdade de elaborarem seus próprios manuais de inspeção e avaliação, desde que os parâmetros destes manuais não se contraponham com os regimentos federais. O estado pode adicionar elementos que são particularmente preocupantes para aquela localização, conduzir pesquisas para desenvolver seu próprio modelo de deterioração, modelo de custo e efetividade de ação e ferramentas de apoio à decisão para análise de custo de ciclo de vida e análise de risco (adaptado de SOBANJO e THOMPSON, 2011).

#### **4.1.1 Inspeção de Pontes nos Estados Unidos**

Segundo o *Bridge Inspector's Reference Manual (BIRM)*, pouca ênfase era dada à inspeção de segurança e manutenção de ponte, até que a ponte Silver, localizada na Virgínia Ocidental, desabou no rio Ohio em 15 de dezembro de 1967, matando 46 pessoas.



**Figura 19** – Ponte Silver após desabamento

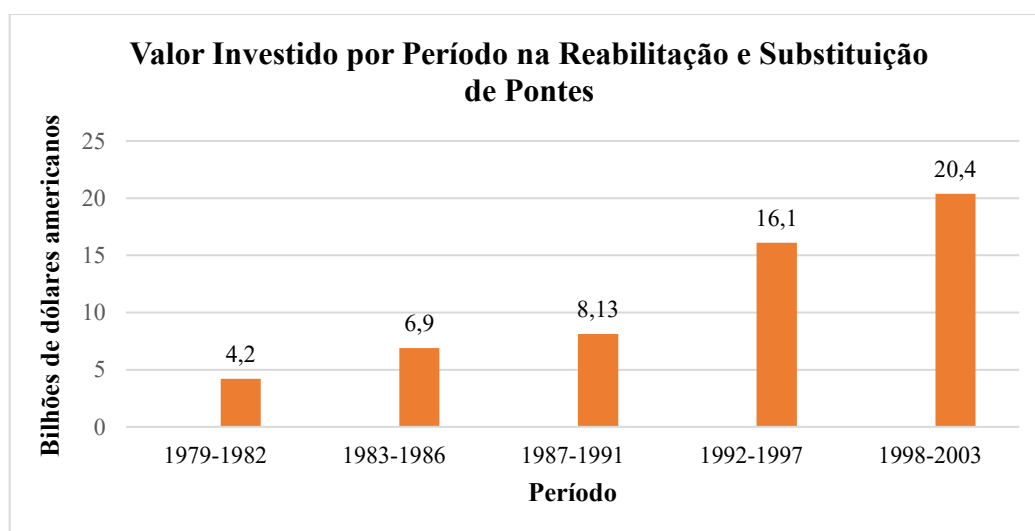
Fonte: BIRM (2012).

A partir dessa tragédia, o país elaborou, concluindo em 1971, o primeiro manual de inspeção de pontes, o *National Bridge Inspection Standards (NBIS)*; esse manual estabeleceu uma política nacional em relação aos procedimentos e frequência das inspeções, qualificação do pessoal, relatórios de inspeção e manutenção do registro dos estados da ponte. Posteriormente, ainda na década de setenta, outros três manuais foram desenvolvidos, complementando o primeiro: *Bridge Inspector's Training Manual 70 (FHWA)*, *Manual for Maintenance Inspection of Bridges (American Association of State Highway Officials (AASHO))* e o *Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges (Coding Guide, 1972)*; com o foco nas inspeções e implantação desses manuais, foram detectados dois grandes impasses: o orçamento disponível não era suficiente para as necessidades de reparo e substituição, e a atividade do NBIS estava limitada apenas a pontes inseridas no sistema rodoviário federal, resultando em pouco incentivo para inspeção e registro de pontes que não estão sob jurisdição federal (adaptado de BIRM, 2012).

Na década de oitenta, alguns manuais foram revisados, fornecendo às agências estaduais diretrizes definitivas para o cumprimento do NBIS. Também foram criados novos manuais, devido à acidentes que envolveram bueiros, colapsos e erosão nas fundações das pontes, sendo estes: *Culvert Inspection Manual*, *Inspection of Fracture Critical Bridge Members* e o *Scour at Bridges*. Nos anos noventa, alguns estados implementaram seu próprio sistema de gerenciamento de pontes, e a FHWA criou o Pontis, um sistema que trouxe flexibilidade suficiente para permitir a personalização para qualquer agência ou organização responsável pela manutenção de uma rede de pontes; nessa mesma década o *Manual for Condition Evaluation of Bridges* e o *Coding Guide* foram revisados. Em 2002, o *Bridge Inspector's Training Manual* foi revisado e atualizado como parte de uma revisão completa do programa de treinamento da

inspeção de segurança da ponte. O novo manual foi nomeado *Bridge Inspector's Reference Manual (BIRM)* e incorporou o teor dos manuais existentes de treinamento de inspetores, além de novos conteúdos (adaptado de BIRM, 2012).

Após as tragédias, elaboração e revisão dos manuais voltados à inspeção e avaliação de pontes, os investimentos federais efetuados na manutenção de pontes aumentaram consideravelmente, dependendo das demandas da infraestrutura de transporte. Em dezembro de 2000, aproximadamente 59.000 pontes foram substituídas ou reabilitadas sob estes fundos. O gráfico a seguir exibe o crescimento do orçamento destinado à reabilitação e substituição de pontes nos Estados Unidos (adaptado de BIRM, 2012).



**Gráfico 1** – Investimento em reabilitação e substituição de pontes por período

Fonte: Adaptado de BIRM (2012).

Até então, muito já foi melhorado no campo da inspeção das pontes, sendo que o programa nacional de treinamento de inspeção em pontes está totalmente implementado. A tecnologia usada para inspecionar as pontes melhorou significativamente, e áreas de ênfase de programas em inspeção de pontes estão se expandindo à medida que novos problemas se tornam aparentes, novos tipos de pontes se tornam comuns e outras pontes envelhecem (adaptado de BIRM, 2012).

Nos Estados Unidos existem atualmente oito tipos de inspeções, sendo estas apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2** – Tipos de Inspeção nos Estados Unidos

<b>INSPEÇÃO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
1 - Inicial	Primeira inspeção de uma ponte para determinar as condições estruturais de base
2 - Rotineira	Inspeção regular programada que consiste em observações e / ou medições necessárias para determinar as condições físicas e funcionais da ponte
3 - Danos	Inspeção não programada para avaliar danos estruturais resultantes de fatores ambientais ou ações humanas
4 - Profunda	Inspeção precisa que investiga deficiências que não foram detectadas durante a Inspeção de Rotina, podendo ou não ser submersa
5 - Especial	Inspeção usada para monitorar um defeito conhecido ou uma suspeita de deficiência
6 - Submersa	Inspeção da parte submersa de uma subestrutura de ponte e do canal ao redor
7 -Prática	Inspeção dentro do comprimento do componente; usa técnicas visuais que podem ser complementadas por testes não destrutivos
8 - Membro Crítico à Ruptura	Uma inspeção prática de um componente crítico à ruptura ou componentes que podem incluir avaliação visual e avaliação não destrutiva.

Fonte: BIRM (2012).

Segundo levantamento efetuado em 2017 pela *Federal Highway Administration*, nos Estados Unidos existem 615002 pontes; essas pontes devem ser rotineiramente inspecionadas, em intervalos que não ultrapassem 24 meses. No entanto, certas pontes exigem inspeção em um intervalo menor, cabendo ao inspetor estabelecer critérios para determinar a frequência e a intensidade da inspeção, com base em fatores como idade, características do tráfego e deficiências conhecidas. Certas pontes podem ser inspecionadas rotineiramente em intervalos maiores que 24 meses, não excedendo 48, desde que tenham aprovação prévia da FHWA; isso pode ser apropriado quando descobertas e análises de inspeção anteriores justificam o aumento do intervalo de inspeção. Para inspeções submersas, o prazo de referência é 60 meses, mas, novamente, dependendo da ponte esse valor pode ser alterado para intervalos inferiores ou superiores a este. Já para inspeção profunda, a frequência pode ser programada independentemente de uma inspeção de rotina, embora geralmente em um intervalo mais longo, ou pode ser um acompanhamento para outros tipos de inspeção; o nível e frequência desse tipo



de inspeção é determinado pelo inspetor. Para as outras inspeções citadas, vai depender dos danos encontrados e da necessidade do monitoramento de cada um, também tendo a frequência definida pelo inspetor (BIRM, 2012).

#### 4.1.2 Avaliação de Pontes nos Estados Unidos

Desde a década de 1970, os estados foram obrigados a reunir um conjunto padronizado de dados de inventário de pontes e dados de inspeção para apresentação à FHWA. Estes dados são compilados em um *National Bridge Inventory* (NBI), destinado a manter o Congresso informado sobre as condições e o desempenho das pontes (FHWA, 1995). No programa de vigência atual do financiamento de pontes, os estados avaliam quatro itens do *Coding Guide*, sendo eles 58 (Tabuleiro), Item 59 (Superestrutura), Item 60 (Subestrutura) e Item 62 (Bueiro) (*Pavement and Bridge Condition Performance Measures Final Rule, 2017*). Vale ressaltar que o item 62, originalmente intitulado *Culvert* (Bueiro), é definido como:

Os bueiros, diferentemente das pontes, são geralmente cobertos por aterros e são compostos de material estrutural em todo o perímetro. Alguns bueiros são apoiados em bases espalhadas com o leito do rio servindo de fundo do bueiro. Se os bueiros satisfizerem os requisitos de comprimento de ponte do NBIS de 20 pés (6 metros) ou mais, eles podem ser classificados como pontes no National Bridge Inventory (NBI) (BIRM, 2012).

No Brasil, o termo Bueiro é muitas vezes erroneamente atribuído ao poço de visita de um bueiro (boca de lobo), sendo que a boca de lobo é apenas um elemento do bueiro (adaptado de NETO, AZEVEDO, 2011). Se a estrutura se enquadrar na classificação de Bueiro, apenas o item 62 é avaliado; o código de classificação 62 destina-se a ser uma avaliação geral da condição do bueiro, onde paredes laterais integrais à construção ou juntas de expansão devem ser incluídas na avaliação. Caso seja uma ponte, são avaliados os itens 58 (Tabuleiro), 59 (Superestrutura) e 60 (Subestrutura) ((FHWA, 2017).

A atribuição precisa de classificações de condição depende da identificação dos componentes da ponte e seus elementos; os componentes da ponte são as principais partes que compõem uma ponte, incluindo o tabuleiro, a superestrutura e a subestrutura. Elementos de ponte são membros individuais compostos de formas básicas e materiais conectados para formar componentes da ponte. As classificações de condição de componente devem refletir a condição geral do componente em vez de condições localizadas (BIRM, 2012). Isto é enfatizado no *Coding Guide* com a seguinte redação:

Os códigos de condição são usados adequadamente quando fornecem uma caracterização da condição geral de todo o componente que está sendo classificado. Por outro lado, eles são usados indevidamente quando tentam descrever ocorrências localizadas ou nominalmente deterioradas ou degradadas. A atribuição correta de um código de condição deve, portanto, considerar tanto a gravidade da deterioração ou a ruína e a extensão em que ela é disseminada em todo o componente que está sendo classificado (FHWA, 1995).

Embora o *Coding Guide* afirme que é impróprio usar os códigos de condição para descrever casos localizados de deterioração ou degradação, também estabelece que o inspetor deve considerar tanto a gravidade quanto a extensão da deterioração, pois há ocasiões em que uma condição severa e localizada afeta a capacidade estrutural de um membro componente. Portanto, condições localizadas que afetam a capacidade estrutural de apenas um membro podem afetar o desempenho geral de todo o componente. O efeito sobre a capacidade estrutural depende de vários fatores, incluindo o tipo e a extensão da deterioração, bem como a localização ao longo do membro. Quando essas situações ocorrem, o inspetor pode diminuir a classificação de condição de um componente inteiro. A classificação da condição do componente é ajustada depois que a área deteriorada é melhorada; ou seja, a classificação sobe se melhorias físicas forem feitas, mas também pode subir se a ponte for lançada para restrições de carga e / ou suportada com escoramento temporário (BIRM, 2012).

As notas de classificação dos componentes da ponte vão de 0 a 9, onde 9 é o melhor resultado possível. Os componentes são avaliados e classificados conforme tabela abaixo.

**Tabela 3** – Classificações de Condição Geral dos Componentes da Ponte

<b>NOTA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>N</b>	NÃO SE APLICA
<b>9</b>	CONDIÇÃO EXCELENTE
<b>8</b>	CONDIÇÃO MUITO BOA - nenhum problema observado
<b>7</b>	CONDIÇÃO BOA - alguns pequenos problemas
<b>6</b>	CONDIÇÃO SATISFATÓRIA - elementos estruturais apresentam pequena deterioração
<b>5</b>	CONDIÇÃO RAZOÁVEL - todos os elementos estruturais primários são sólidos, mas podem ter pequenas perdas de seção, rachaduras, fragmentação ou erosão.
<b>4</b>	CONDIÇÃO POBRE - Perda de seção, deterioração, fragmentação ou erosão avançadas

NOTA	DESCRIÇÃO
3	CONDIÇÃO SÉRIA - perda de seção, deterioração, lascamento ou erosão afetaram seriamente os componentes estruturais primários. Falhas locais são possíveis. Fissuras por fadiga em aço ou fissuras por cisalhamento no concreto podem estar presentes.
2	CONDIÇÃO CRÍTICA - deterioração avançada dos elementos estruturais primários. Fissuras por fadiga em aço ou fissuras de cisalhamento no concreto podem estar presentes ou a erosão pode ter removido o suporte da subestrutura. A menos que seja monitorado de perto, pode ser necessário fechar a ponte até que uma ação corretiva seja tomada.
1	CONDIÇÃO DE FALHA IMINENTE - grande deterioração ou perda de seção presente em componentes estruturais críticos ou movimento vertical/horizontal evidente que afeta a estabilidade da estrutura. A ponte está fechada ao tráfego, mas a ação corretiva pode ser recolocada em serviço leve.
0	CONDIÇÃO FALHA - fora de serviço - além da ação corretiva.

Fonte: FHWA (1995).

Com base nas notas, o NBI também classifica em Escalas de Avaliação, conforme Tabela 4.

**Tabela 4** – Escala de Avaliação NBI

CONDIÇÃO	NOTA
Boa	9, 8, 7
Razoável	6, 5
Pobre	4, 3, 2, 1

Fonte: FHWA (2017).

Essa classificação em escalas de avaliação serve para medir a porcentagem de pontes em boas ou pobres condições. Pontes com qualquer componente avaliado com nota menor ou igual à 4, são consideradas estruturalmente deficientes, e a nota final da ponte é a menor nota atribuída aos componentes (FHWA, 2017).

Como o *NBI* tem apenas quatro componentes descrevendo a condição de ponte, esses quatro itens representam partes separadas de uma estrutura, com foco nos principais componentes de suporte de carga. O *Coding Guide* que origina o *NBI* é focado na segurança e não nas necessidades de manutenção, portanto alguns componentes com custos de manutenção significativos (como juntas de dilatação) recebem pouca ou nenhuma consideração ao atribuir uma classificação de condição. Embora o *Coding Guide* da FHWA ainda seja obrigatório, essas

quatro classificações de condição são insuficientes para fins de gerenciamento de ativos; não fornecem informações suficientes sobre a causa da deterioração, para prever condições futuras ou selecionar ações de manutenção apropriadas, e não fornecem informações suficientes sobre a extensão da deterioração para a estimativa de custos (*FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2016*). A partir dessa constatação, foi elaborado e implementado um sistema complementar de inspeção e avaliação das pontes: a nível de elemento.

A avaliação a nível de elemento é usada com êxito como base para coleta de dados, medição de desempenho, alocação de recursos e suporte a decisões de gerenciamento. Embora a classificação da condição do componente e o relatório, conforme descrito no *Coding Guide* da FHWA, forneçam um método consistente para avaliação e relatório, os dados não são suficientemente abrangentes para o suporte à decisão baseado no desempenho de preservação da ponte. Para a inspeção e avaliação a nível de elemento, o manual utilizado é o *Bridge Element Inspection Guide Manual* (2010), da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO); este manual define cada elemento, descrição, conjunto de quatro estados de condição padronizados (1-Bom, 2-Razoável, 3-Pobre e 4-Severo) e ações de viabilidade (*BIRM, 2012*). Cada elemento da ponte tem uma tabela com os principais defeitos (baseada no material e função do elemento), o grau de severidade desses defeitos, ações viáveis e uma orientação quantitativa para auxiliar na classificação das anomalias. Neste método, os elementos da ponte são divididos em três grupos principais:

- ***National Bridge Elements (NBE'S)***: representam os componentes estruturais primários das pontes necessários para determinar a condição geral e a segurança dos membros transportadores de carga. Os NBEs são um refinamento das classificações de condição de Tabuleiro, Superestrutura, Subestrutura e Bueiro, definidas no *Coding Guide* e são destinados a formar uma base de elemento para avaliação de condição de ponte no *National Bridge Inventory (NBI)*. NBEs são projetados para permanecerem consistentes de agência para agência em todo o país, a fim de facilitar e padronizar a captura da condição de elemento de ponte no nível nacional (adaptado de *NEW JERSEY DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2014*).
- ***Bridge Management Elements (BMEs)***: Os elementos de gerenciamento de ponte (BME's) representam muitos elementos das pontes que exigem preservação, mas não são membros estruturais primários. Esses elementos incluem juntas, superfícies de desgaste, revestimentos de proteção, além de sistemas de proteção do Tabuleiro (*AASHTO, 2010*). Os BMEs são definidos como um conjunto de avaliação de condições, que pode ser modificado para atender às necessidades dos estados, uma

vez que esses elementos não se destinam a formulações de políticas nacionais; podem ser apresentados de uma maneira geral, permitindo flexibilidade para que uma agência desenvolva elementos específicos que melhor se adequam às práticas locais de gerenciamento de pontes (adaptado de *NEW JERSEY DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2014*).

- ***Agency Developed Elements (ADEs)***: Esses componentes fornecem a flexibilidade para que uma agência defina elementos personalizados de acordo com a estrutura do elemento definido, que podem ser sub elementos de NBEs ou BMEs, ou podem ainda ser elementos definidos sem vínculos com os NBEs ou BMEs. Os ADEs se dividem em três categorias principais: subconjuntos de NBEs, subconjuntos de BMEs ou elementos que são totalmente independentes. Vale ressaltar que para os subconjuntos de NBEs a flexibilidade de criação não é tão ampla, devido ao propósito de padronização nacional desses elementos (adaptado de *NEW JERSEY DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2014*).

Atualmente, é obrigatoriedade dos estados e concessionárias de pontes a divulgação dos resultados das avaliações, tanto pelo método da FHWA (NBI) como pelo método AASHTO, de inspeção e avaliação a nível de elemento. No Estudo de Caso do Capítulo 5, foi escolhido o método a nível de elemento, por ser mais detalhado e abrangente, além de englobar os quatro componentes do *NBI*, que estão subdivididos em elementos. A medida em que os defeitos do estudo de caso forem descritos, serão apresentadas as tabelas de avaliação para cada um deles.

## 4.2 JAPÃO

### 4.2.1 Inspeção de Pontes no Japão

Existem cerca de 700.000 pontes no Japão, e a porcentagem de pontes com 50 anos a partir da data de construção aumentou para 43% nos últimos 10 anos, por isso os investimentos e sistemas de gerenciamento das pontes devem ser constantemente otimizados. O *MLIT* emite os padrões nacionais de inspeção de pontes, que são requisitos mínimos legalmente obrigatórios a todos os administradores de rodovias, incluindo escritórios *MLIT*, governos locais e operadores de vias expressas. Os administradores rodoviários geralmente adicionam seus protocolos originais aos requisitos mínimos nacionais. O *MLIT* funciona como o maior operador rodoviário no Japão e possui os seus protocolos, que são compostos pelos padrões

mínimos nacionais, avaliação de manutenção, classificação da urgência de reparo e sistemas de registro de dados<sup>1</sup>.

Os padrões de inspeção de pontes MLIT são aplicados para qualquer ponte de 2 ou mais metros. A frequência de inspeção é de 5 anos, e uma inspeção de todas as partes da estrutura é requerida; em casos onde seja necessário, uma inspeção em intervalo de tempo menor é executada. Entre 2003 e 2004, o MLIT iniciou uma iniciativa de manutenção preventiva e adicionou um novo protocolo de gravação de dados da condição segmentar da ponte ao seu sistema convencional de classificação de urgência de manutenção e reparo (M & R). Desde então, dados detalhados de condições de pontes são coletados em todo o país (TAMAKOSHI, SHIRATO e KAMADA, 2016).

Em inspeções periódicas, o MLIT recomenda a utilização de equipamentos de inspeção não destrutivos, indispensáveis para melhores resultados de inspeção; também sugere ações para as inspeções de acordo com o tipo de dano, desde inspeções visuais detalhadas até a utilização de infravermelho. As inspeções são divididas entre dois responsáveis principais: o inspetor de classificação da condição do dano e o inspetor da classificação de urgência de manutenção; o MLT terceiriza esses trabalhos, e o inspetor que for registrar os dados não pode incorporar seus pontos de vista sobre a urgência de manutenção e reparo nas classificações de extensão do dano, ele deve corresponder estritamente à aparência do dano com as definições estabelecidas e exemplos fotográficos (MLIT, 2004).

#### 4.2.2 Avaliação de Pontes no Japão

No Japão, a avaliação das pontes é dividida em duas etapas, e efetuada por dois profissionais diferentes. Existe o inspetor de registro da ponte, que divide os membros da estrutura em segmentos, e registra da maneira mais precisa possível a extensão dos danos, baseado em critérios pré-estabelecidos para a classificação. Após o registro de danos da ponte, um inspetor mais experiente avalia os dados e classifica os elementos de maneira subjetiva, atribuindo sua opinião e a classificação da Manutenção e Reparos (M&R) necessária. Cada vão dos membros estruturais é avaliado e classificado conforme tabela abaixo, que indica o índice de solidez.

---

<sup>1</sup> Informação obtida via contato pessoal com Masahiro Shirato.

**Tabela 5** – Classificação de Condição de Pontes no Japão

<b>I : Bom estado. (A, B)</b>	Um estado que não há problema para a função da ponte
<b>II : Estágio de manutenção preventiva. (C1, M)</b>	Um estado em que não há problema para a função da ponte, mas é necessário tomar medidas do ponto de vista da manutenção preventiva
<b>III: Fase de Medição Antecipada. (C2)</b>	Existe a possibilidade de que a função da ponte esteja com problemas e as medidas devem ser tomadas o quanto antes
<b>IV: Fase de medidas de emergência. (E1, E2)</b>	Existe um problema com a função da ponte, ou há possibilidade muito alta do problema. As medidas devem ser tomadas imediatamente

Fonte: MLIT (2004).

As letras entre parênteses correspondem a classificação da urgência de manutenção, que são:

**Tabela 6** – Classificação da Manutenção e Reparo

<b>Classificação da Manutenção e Reparo (M&amp;R)</b>	
<b>A</b>	Nenhum dano encontrado ou o dano é pequeno e não há necessidade de reparo
<b>B</b>	É necessário realizar o reparo de acordo com a situação, mas o reparo não precisa ser imediato. Pode-se julgar que a segurança da estrutura não será significativamente prejudicada nos próximos 5 anos (próxima inspeção). Por exemplo, fissuras em apenas uma direção em ambiente com baixo volume de tráfego
<b>C1</b>	Do ponto de vista da manutenção preventiva, é necessário realizar o reparo e outras verificações, pois o dano progrediu. Por exemplo, devem ser removidos pontos de corrosão e suas causas, ou desentupimento dos tubos de drenagem
<b>C2</b>	Do ponto de vista da estabilidade e segurança estrutural, é necessário realizar o reparo e outras verificações, pois o dano está progredindo consideravelmente e é relevante para a função e segurança da ponte. Por exemplo, rachaduras nos membros de concreto

<b>Classificação da Manutenção e Reparo (M&amp;R)</b>	
<b>E1</b>	Do ponto de vista da segurança estrutural, é necessário a análise e o atendimento emergencial, pois a segurança da estrutura da ponte foi severamente prejudicada e deve ser tratada com urgência. Por exemplo, rachaduras em vigas principais; existe perigo de colapso da ponte devido ao tráfego
<b>E2</b>	Ação emergencial é necessária, devido a outros fatores que não sejam devido à segurança estrutural. Nesta categoria há preocupação com a possibilidade de danos aos pedestres e motoristas, por exemplo a queda de algum elemento ferir alguém
<b>M</b>	Reparos necessários no decorrer do trabalho de manutenção regular. Há danos e para manter a função da peça e o membro em bom estado é necessário ser tratado o mais rapidamente possível
<b>S1</b>	Existe uma necessidade de investigação detalhada, para tratar a causa do dano. Esse é o caso quando há uma reação suspeita de agregados alcalinos, por exemplo
<b>S2</b>	Existe uma necessidade de investigação detalhada e pesquisa de acompanhamento

Fonte: MLIT (2004).

As classificações de urgência de manutenção e reparo (M&R) são dadas aos membros estruturais para indicar como e onde medidas corretivas são necessárias com urgência. Cada membro estrutural em cada vão possui seu próprio número de identificação, e as classificações M&R são diagnosticadas para tipos de danos prescritos. Quando diferentes tipos de danos são observados em um membro estrutural, as classificações são julgadas e registradas separadamente para cada tipo de dano (TAMAKOSHI, SHIRATO e KAMADA, 2016). Esse julgamento é subjetivo, por isso o MLIT reitera a importância de ser um engenheiro experiente avaliando e julgando os segmentos da ponte. Os danos prescritos pelo MLIT levam em consideração o material da ponte, e são divididos conforme segue.

**Tabela 7** – Danos Prescritos de Acordo com o Material

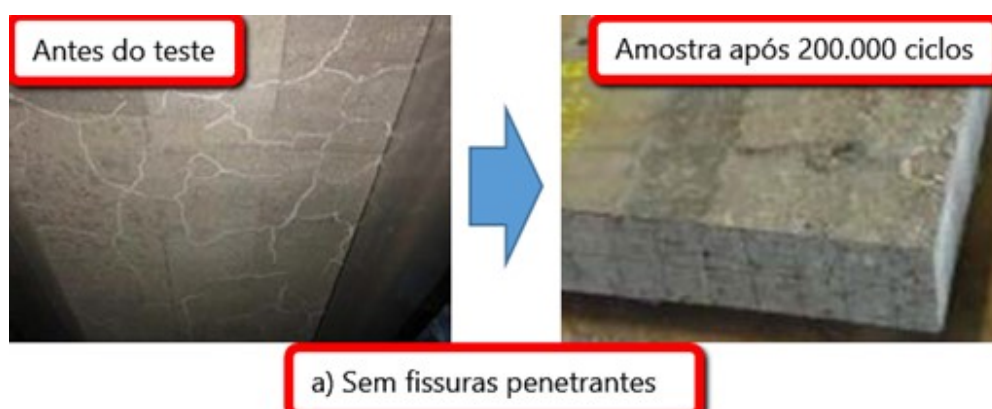
<b>Material</b>	<b>Tipo de Dano</b>
Comum	Deflexão / distorção irregular Som irregular
Membros de Aço	Corrosão Fissuração Ruptura Parafuso afrouxado / ausente Deterioração do revestimento



Material	Tipo de Dano
Membros de Concreto	Fissuração Desagregação do concreto Infiltração de água / eflorescência Fissura na laje do tabuleiro Falha de perfuração na laje do tabuleiro Desplacamento Exposição da armadura
Outros	Mau funcionamento do apoio Mau funcionamento das juntas Perigo na âncora do cabo Recalque / movimento / inclinação Erosão Entupimentos com sedimentos Vazamento de água Diversos

Fonte: TAMAKOSHI, SHIRATO e KAMADA (2016).

Para as classificações de urgência de M & R, os padrões de inspeção de ponte do MLIT não especificam nenhum critério numérico ou quantitativo (largura ou densidade de fissura, área de corrosão, espessura de chapa, entre outros) porque, segundo SHIRATO (2016), é impossível formular critérios numéricos para todas as condições de carga, situações ambientais, combinações com outros tipos de danos existentes, relações entre o dano e a condição e comportamento de outros membros estruturais. No Japão algumas pesquisas foram feitas a respeito da aparência do dano e da resistência do membro; em uma delas, conduzida por Shirato, duas amostras de pontes diferentes, porém com a mesma aparência para as fissuras, foram submetidas ao teste de fadiga de rodas, onde uma roda submetida a uma determinada carga axial forçou a amostra até que colapsasse.



**Figura 20** - Teste de Fadiga em Amostra de Ponte sem Fissuras Penetrantes

Fonte: SHIRATO e TAMAKOSHI (2016)



**Figura 21** - Teste de Fadiga em Amostra de Ponte com Fissuras Penetrantes

Fonte: SHIRATO e TAMAKOSHI (2016)

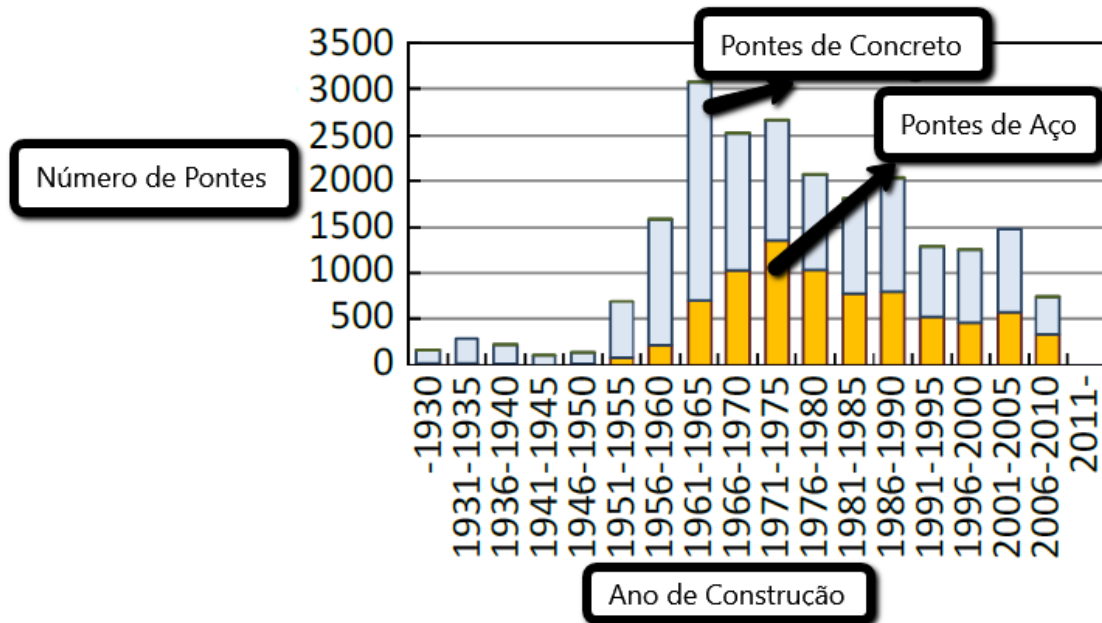
No entanto, a amostra a) não colapsou com um movimento de 200.000 ciclos, enquanto a amostra b) desmoronou em um movimento de roda de 20.000 ciclos, com 1/10 de durabilidade comparado a a). Isso deve-se ao fato de algumas fissuras já terem penetrado através de toda a profundidade da laje do tabuleiro antes do experimento. A água que penetrou através da superfície da laje influenciou nesse processo, acelerando a evolução da fissura no concreto; ainda segundo Shirato e Tamakoshi, a influência das fissuras na segurança da ponte depende da localização, direção e profundidade das fissuras, não sendo facilmente padronizada visualmente, apenas em função das larguras e comprimentos das trincas (SHIRATO e TAMAKOSHI (2016)).

Os padrões exemplificados por Shirato, Tamakoshi e Kamada fornecem suplementos para a avaliação dos inspetores, como por exemplo (TAMAKOSHI, SHIRATO e KAMADA, 2016):

- E1: rachaduras notáveis se desenvolveram e a degradação do tabuleiro é suscetível de afetar a estabilidade estrutural da ponte.
- E2: Fissuras se desenvolveram e quase alcançaram o estado de puncionamento, ameaçando a segurança dos usuários; pedaços de concreto podem cair.
- S: É provável que a reação álcali-sílica ou entrada de cloreto esteja se desenvolvendo no concreto.
- B ou C: Esta categoria pode ser aplicada considerando a extensão do dano e a evolução esperada devido às condições de tráfego e características estruturais da ponte.

A Figura 22 mostra o número de pontes por ano de construção no Japão. A urgência de reparo aumenta em ordem crescente de A, B, M, S, C, E2 e E1. Pontes com classificação C

precisam ser reparadas no momento da próxima inspeção, pontes com classificação E precisam de ação urgente, enquanto a manutenção deve ser realizada para pontes com classificação B.



**Figura 22** – Número de Pontes no Japão por Ano de Construção

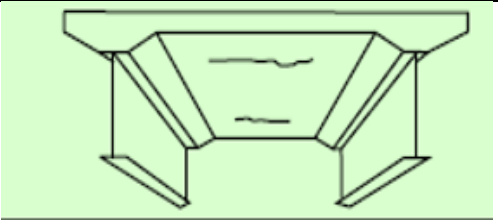
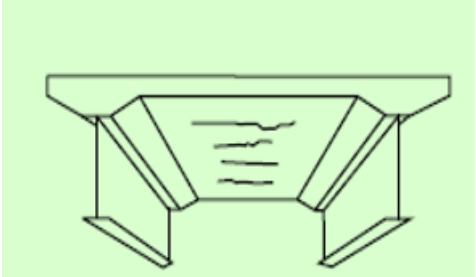
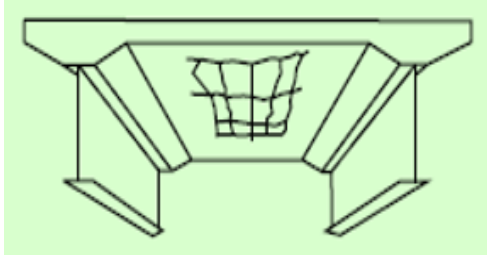
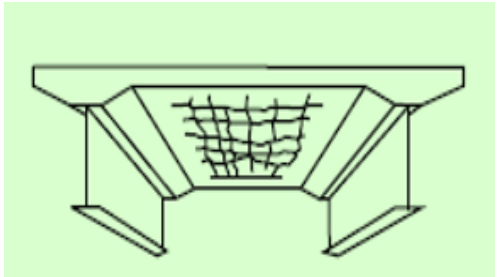
Fonte: SHIRATO, (2016).

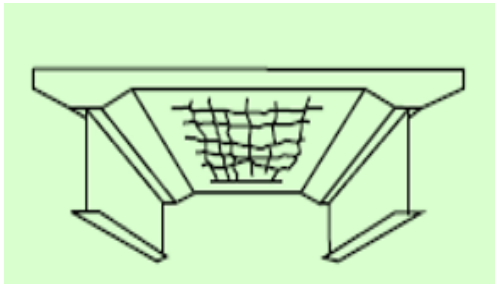
A rede rodoviária japonesa foi intensamente desenvolvida durante o período de rápido crescimento econômico na década de 70 e as pontes construídas nesse período em breve completam 50 anos. Pontes com classificação C são avaliadas para exigir reparo no momento da próxima inspeção e estão aumentando em número com o tempo. A redução do número de pontes com classificação C tem sido prioridade, mas também é importante para o MLIT evitar que as pontes com classificação B se tornem classificação C, para reduzir as despesas futuras de preservação (SHIRATO, 2016).

Quanto ao registro da ponte, aos segmentos dos elementos os inspetores são solicitados a registrar a existência e extensão dos danos da forma mais precisa possível, de "a" a "e", onde "e" é o pior caso possível; essas atribuições não podem ter tradução subjetiva, a amostra deve ser comparada à imagens e critérios numéricos, como a largura da fissura. Logo, para o inspetor que vai fazer o registro das pontes, os critérios quantitativos são levados em conta, assim como a orientação dos danos; mas esse inspetor apenas registra, não pode dar sua opinião quanto à classificação da Manutenção e Reparo (M&R). A abordagem do Japão é mista, mas a posição final da avaliação, que é com base na M&R, é subjetiva, e dada por um engenheiro mais experiente (MLIT, 2004). Um exemplo de classificação entre "a" a "e" é ilustrado a seguir, para

a manifestação patológica de fissuras na laje do tabuleiro; o MLIT fornece uma tabela desse tipo para cada dano prescrito. No estudo de caso do Capítulo 5, as tabelas que se enquadram nos defeitos encontrados nas pontes serão exibidas; a priori, a tabela abaixo serve para exemplificar as classificações dos danos na avaliação de pontes do Japão.

**Tabela 8 – Extensão da Aparência de Danos para Fissuras de Concreto na Laje do Tabuleiro**

Extensão do dano	Critério Numérico para Aparência			Exemplos
	Padrão de Fissura	Densidade da Fissura	Largura Máxima da Fissura	
<b>A</b>	Fissuramento em uma direção	O espaçamento entre as fissuras é, em sua maioria, de 1m ou mais	A largura máxima da fissura é de 0,05 mm ou mais estreita (fissura capilar)	
<b>B</b>	As fissuras unidirecionais prevalecem, enquanto as fissuras que se desenvolvem na direção do outro eixo da ponte ainda são pequenas	O espaçamento entre as fissuras é, em sua maioria, entre 1 e 0.5 m	A maioria das fissuras tem uma largura menor que 0,1 mm, enquanto algumas partes das fissuras tem uma largura de 0,1 mm ou mais	
<b>C</b>	Um padrão de rachadura bidirecional está em desenvolvimento, mas ainda não se tornou como uma malha	O espaçamento entre as fissuras é ao redor de 0.5 m	A maioria das fissuras tem uma largura menor que 0,2 mm, enquanto algumas partes das fissuras tem uma largura de 0,2 mm ou mais	
<b>D</b>	Um padrão de rachadura bidirecional está totalmente desenvolvido	O espaçamento entre as fissuras está entre 0.5 e 0.2 m	Muitas fissuras têm uma largura de 0,2 mm e a abrasão é visível em algumas partes da superfície da fissura	

Extensão do dano	Critério Numérico para Aparência			Exemplos
	Padrão de Fissura	Densidade da Fissura	Largura Máxima da Fissura	
E	Um padrão de rachadura bidirecional está totalmente desenvolvido	O espaçamento é, em sua maioria, menor do que 0.2 m	Muitas fissuras têm uma largura de 0,2 mm e a abrasão é bem desenvolvida continuamente na superfície da fissura	

Fonte: SHIRATO, (2016).

Para a classificação de M&R, é levado em conta todo o elemento; por exemplo, as longarinas da ponte recebem uma classificação, já no registro de dados, as longarinas são divididas em segmentos, e esses segmentos recebem uma classificação de “a” a “e”; Segundo Shirato (2016), esse protocolo de gravação de dados é projetado para identificar as diferenças nas tendências de deterioração dependendo das posições de elementos, como vigas externas e internas, as posições de seções transversais dentro de um elemento como extremidades de viga e centros, e a existência simultânea de defeitos diferentes dentro de um elemento, como uma combinação de eflorescência e rachaduras no concreto.

Com o registro de danos “a” a “e”, é possível também montar uma matriz de probabilidade, Matriz de Markov. Shirato conduziu uma pesquisa com dados de inspeção de pontes, utilizando o dano de fissuras no tabuleiro durante cinco anos (período das inspeções); os dados foram separados em dois grupos principais: tabuleiros sem eflorescência ou infiltração de água (Grupo 1), e tabuleiros com essas anomalias (Grupo 2). Os resultados são exibidos a seguir.

Grupo 1: Eflorescência ou infiltração de água não é observada														
		Matriz de Transição					Matriz de Probabilidade de Transição							
Extensão Dano	Número Segmentos	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e			
a	76822	57422	16730	2501	168	1	74.7%	21.8%	3.3%	0.2%	0.0%			
b	37037	0	34695	2205	134	3		93.7%	6.0%	0.4%	0.0%			
c	8515	0	0	8183	330	2			96.1%	3.9%	0.0%			
d	1244	0	0	0	1244	0				100.0%	0.0%			
e	8	0	0	0	0	8					100%			

**Figura 23** – Matriz de Transição da Classificação dos Danos -Grupo 1

Fonte: SHIRATO (2016)

Há poucos segmentos de registro de dados com classificação "e", sugerindo que os tabuleiros foram consertados antes que atinjam essa classificação de dano (Shirato, 2016).

Grupo 2: Eflorescência ou infiltração de água é observada												
Extensão Dano	Número Segmentos		Matriz de Transição					Matriz de Probabilidade de Transição				
			a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
a	4582	Após 5 anos	2818	1533	216	14	1	61.5%	33.5%	4.7%	0.3%	0.0%
b	9209		0	8650	511	47	1		93.9%	5.5%	0.5%	0.0%
c	1980		0	0	1821	158	1			92.0%	8.0%	0.1%
d	270		0	0	0	267	3				98.9%	1.1%
e	23		0	0	0	0	23					100%

**Figura 24** – Matriz de Transição da Classificação dos Danos -Grupo 2

Fonte: SHIRATO (2016)

Nos dois grupos, alguns segmentos 'a' ou 'b' mudaram para 'd' ou 'e' em cinco anos, o que significa que tabuleiros com pequenas fissuras às vezes se deterioram severamente em cinco anos. Além disso, fica claro que tabuleiros com eflorescência ou infiltração de água sofrem uma maior probabilidade de piora, pois no Grupo 1, 25.3% segmentos “a” pioraram, já no Grupo 2 a porcentagem foi de 38.5%; para o dano “c”, a piora no Grupo 2 foi ainda mais intensa: praticamente o dobro de piora em relação ao Grupo 1.

A partir da coleta de dados, o MLIT efetua simulações e obtém um melhor planejamento para o orçamento e capacitação de mão de obra para as pontes do Japão.

## 4.3 BRASIL

### 4.3.1 Inspeção de Pontes no Brasil

O primeiro manual de Inspeção de Pontes do Brasil foi publicado em 1980, elaborado pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), atual DNIT. Este manual foi revisado e complementado em 2004 pelo DNIT, e é esta revisão que está em vigência atualmente: Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, 2004. As pontes rodoviárias objeto deste manual são de alvenaria, pedra, concreto armado, concreto protendido e aço, não incluindo pontes flutuantes, móveis, pênséis, estaiadas ou com mais de duzentos metros de vão (DNIT, 2004). Além das pontes que estão sob concessão federal, as pontes das concessionárias brasileiras também devem ser inspecionadas. A concessionária Autopista Litoral Sul, por

exemplo, se baseia na norma DNIT-010/2004-PRO – Inspeção em Pontes e Viadutos de Concreto Armado e Protendido e na NBR 9452 – Inspeções de pontes e viadutos (2016) para essas inspeções<sup>2</sup>. De acordo com o DNIT (2004), as responsabilidades e deveres de um inspetor de pontes são:

- RESPONSABILIDADES
  - Registrar minuciosamente, e com fidelidade, os itens que necessitam de reparos ou serviços de manutenção.
  - Zelar pelo patrimônio público.
  - Manter a segurança e a funcionalidade das obras e garantir a confiança do usuário.
- DEVERES
  - Planejar as Inspeções.
  - Realizar as Inspeções.
  - Preparar os Relatórios.
  - Identificar os itens que necessitam de reparos e quantificar seus custos.

Existem cinco tipos de inspeções descritas pelo DNIT, sendo elas:

- **Inspeção Cadastral:** É a primeira inspeção da obra e deve ser feita assim que a ponte for incorporada no sistema viário. Alterações significativas na ponte, como alargamentos ou reforços, também demandam uma inspeção cadastral. Essa inspeção é amplamente documentada, contendo todos os projetos e quaisquer registros que possam agregar informações necessárias para o histórico da ponte.
- **Inspeção Rotineira:** As inspeções rotineiras são inspeções programadas, com intervalos adequados, em geral de um a dois anos. Nessas inspeções verifica-se a evolução de manifestações patológicas existentes, ou o surgimento de novas anomalias. Devem ser registradas toda e qualquer alteração que tenha sido efetuada na ponte, como recuperações, reparos ou reforços. Equipamentos especiais são necessários caso seja o único jeito de inspecionar o trecho de interesse. As Inspeções Rotineiras ficam registradas através do Documentário Fotográfico e do preenchimento da Ficha de Inspeção Rotineira. Se não houver um histórico de inspeções anteriores na ponte, a primeira inspeção rotineira acaba sendo cadastral. No caso de serem encontrados defeitos críticos, uma inspeção especial deve ser requerida.
- **Inspeção Especial:** A Inspeção Especial deve ser realizada em pontes excepcionais (pelo seu porte ou comportamento). Deve ser efetuada no intervalo máximo de cinco anos, e também pode ser solicitada devido a suspeitas na Inspeção Rotineira.

---

<sup>2</sup> Informação obtida via contato pessoal com a Ouvidoria Litoral Sul.

- **Inspeção Extraordinária:** Inspeção que deve ser efetuada no surgimento de danos, intempéricos ou antrópicos, que requeiram uma inspeção não programada para avaliação. O inspetor deve avaliar a gravidade dos danos e ter competência para a tomada de ações, que pode incluir limitar ou interromper o tráfego, solicitar inspeção especial, entre outros. Segundo o DNIT, a descrição detalhada do episódio que exigiu a Inspeção Extraordinária, bem como as providências dela derivadas e um documentário fotográfico deverão constar em relatório.
- **Inspeção Intermediária:** Essa inspeção visa acompanhar a evolução de uma deficiência suspeitada ou já detectada. Nela devem constar, detalhadamente, as informações sobre a evolução ou estabilização do dano, e se é necessário continuar com inspeções intermediárias para acompanhar aquela anomalia.

O manual do DNIT também descreve parâmetros para a Inspeção Submersa. Essas inspeções são, geralmente, rotineiras ou especiais (DNIT, 2004).

Todas as vezes que os apoios de uma ponte, infraestrutura e fundações, ficam permanentemente submersos, devem ser previstas inspeções submersas que, em geral, fazem parte de uma inspeção global, envolvendo procedimentos estruturais, hidráulicos, geológicos e geotécnicos (DNIT, 2004).

A inspeção submersa deve ser efetuada, para pontes em bom estado, num intervalo máximo de cinco anos. Alguns fatores como idade da obra, sistema estrutural, probabilidade de erosões no leito do rio ou ambiente agressivo, auxiliam na fixação dos intervalos e no nível das inspeções submersas, nível este que pode ter três classificações (DNIT, 2004):

- a) Nível I: Inspeção visual e táctil.
- b) Nível II: Inspeção detalhada, com limpeza parcial.
- c) Nível III: Inspeção altamente detalhada, com testes não-destrutivos.

A inspeção deve incluir, mas não, necessariamente, ficar limitada às seguintes observações (DNIT, 2004):

- **Geometria e Condições Viárias:** Verificar o alinhamento, deformações ou vibrações excessivas, segurança e fluência do tráfego, bem como calçadas para pedestres. Se for uma ponte sobre rio navegável ou viaduto, averiguar se os gabaritos são suficientes e se existe proteção contra choques.
- **Acessos:** Examinar se há irregularidades, estado das juntas entre o acesso e a ponte, drenagem e a condição de contenção do aterro.



- **Cursos d'Água:** Verificar se há detritos interferindo na vazão da água com a infraestrutura, indícios de erosão, assoreamento e, se houver enrocamento nas margens, averiguar seu estado de condição.
- **Encontros e Fundações:** Verificar se há evidência de erosão ou descalçamento nas fundações, ou se existem trincas, desalinhamentos e desaprumos nos encontros, bem como anomalias no concreto.
- **Apoios Intermediários:** Avaliar os pilares, maciços, parede ou isolados, assim como as vigas de contraventamento para apurar os sinais de degradação e corrosão de armaduras. Particularmente importantes e perigosas 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:** Verificar se os apoios estão bem posicionados e alinhados, se podem mover-se livremente, se há distorção, presença de detritos e seu estado de conservação. Apoios metálicos não devem ter ferrugem, devem estar bem lubrificados e com chumbadores em bom estado, assim como os elastoméricos não podem estar abaulados e muito distorcidos.
- **Superestrutura:** Tomar nota das anomalias no concreto, tais como fissuras, trincas, deslocamentos, desagregações, infiltrações e eflorescências, identificando suas causas prováveis, tais como drenagem deficiente, ausência de pingadeiras e trincas na laje. Para superestruturas em caixão, as inspeções somente serão completas e confiáveis se houver fácil e seguro acesso ao seu interior.
- **Pista de Rolamento:** Verificar se há buracos, fissuras, desgaste ou degradação. Também deve ser observada a suficiência do sistema de drenagem para a pista.
- **Juntas de Dilatação:** Inspeccionar e registrar a integridade da junta, sua capacidade de vedação e se há acúmulo de detritos nela. Medir sua abertura e registrar também a temperatura no momento da medição.
- **Barreiras e Guarda-Corpos:** Registrar possíveis anomalias no alinhamento, estado do concreto, cobrimento e condição das armaduras.
- **Sinalização:** Verificar e registrar a existência ou não de placas de sinalização na entrada da ponte e de sinalização da pista.
- **Instalações de Utilidade Pública:** Verificar se os dutos estão bem fixados, se há vazamentos de água ou gás e se os dutos de eletricidade estão bem isolados.

#### 4.3.2 Avaliação de Pontes no Brasil

A avaliação de pontes no Brasil é subjetiva, pois não considera critérios objetivos preestabelecidos. Os elementos são avaliados, e para cada um deles uma nota de 1 a 5 é atribuída, a qual refletirá a maior ou a menor gravidade dos problemas existentes no elemento, sendo 5 a melhor condição possível e 1 a condição precária. Ao final é atribuída uma nota para a ponte, referente a menor nota conferida aos elementos desta ponte. A descrição das notas de avaliação é fornecida na Tabela a seguir.

Tabela 9 – Descrição das Notas de Avaliação de Pontes

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 intermediárias <sup>1</sup> são recomendáveis para monitorar os problemas.
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, em havendo um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) - ou em alguns casos, substituição da obra - deve ser feita sem tardar.	Precária	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 de deslocamentos e deformações etc.

Fonte: DNIT (2004).

Após as avaliações, esses registros são gravados por meio do aplicativo de Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte (SGO), elaborado pelo Serviço Federal de Processamento de Dados (SERPRO). Apenas profissionais cadastrados tem acesso a esse sistema.

## **5 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO NAS PONTES DO ESTUDO DE CASO**

Para o estudo de caso foram selecionadas duas pontes da cidade de Brusque; ponte Arthur Schlosser e ponte do Guarani. As pontes adotadas são pontes em viga, executadas em concreto armado, retas e ortogonais (não esconsas), com seus pilares alinhados transversalmente.

Dentre cinco pontes previamente selecionadas, a ponte do Guarani foi a que estava em condições visualmente mais críticas do que as outras, e a ponte Arthur Schlosser foi escolhida por ter sido recentemente interditada devido à erosão nas fundações; atualmente se encontra recuperada dos problemas estruturais, mas ainda apresenta patologias que devem ser corrigidas. Ambas as pontes estão sob concessão municipal e não são inspecionadas preventivamente pelo município, que não possui um programa de manutenção das pontes.

### **5.1 PONTE ARTHUR SCHLOSSER**

A ponte Arthur Schlosser está localizada no Centro de Brusque, sobre o rio Itajaí Mirim e possui 76 metros de comprimento. É uma ponte de mão única, sentido centro-bairro, cuja informação do ano de construção não foi precisamente obtida, mas existem registros dessa ponte datados de 1971.



**Figura 25** – Ponte Arthur Schlosser (em destaque) no ano de 1971

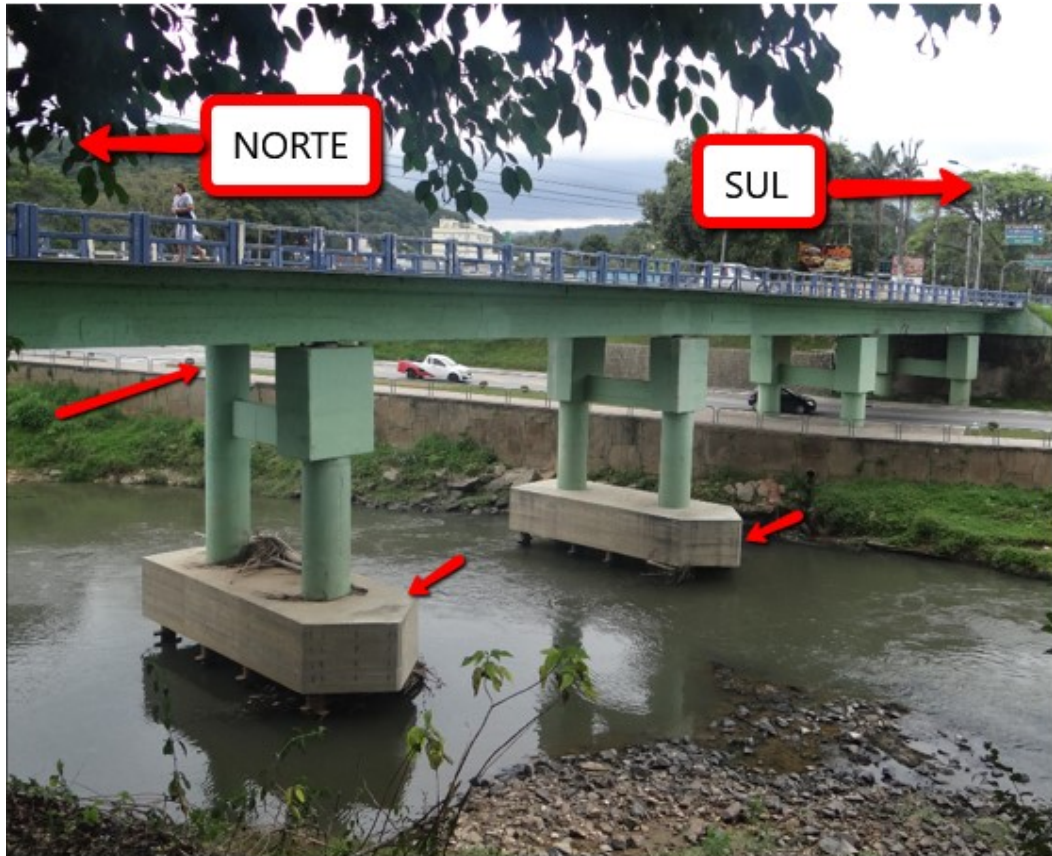
Fonte: Érico Zendron (1971).

Em junho de 2017, Brusque sofria com as cheias, que são recorrentes na cidade; a Beira Rio, via que está localizada sob a ponte Arthur Schlosser, foi construída para servir de canal extravasor para essas cheias. Mesmo com o canal extravasor, durante um período de inundação a velocidade do fluxo é aumentada, o que causa um escoamento mais intenso na base da estrutura. Alterações no leito do rio também podem ocorrer devido à ações intempéricas e antrópicas; pode ocorrer agregação, que é o acúmulo geral e progressivo do perfil longitudinal de um leito de canal devido à deposição de sedimento, ou a degradação, que é a redução geral e progressiva do canal devido à erosão; essas alterações no leito afetam o escoamento e a incidência da correnteza na estrutura, podendo acelerar o processo erosivo (adaptado de *BIRM*, 2012). Nesta cheia, a ponte foi interditada devido à erosão no leito do rio, impactando nas fundações; a força da correnteza maior que o usual, somada as alterações dinâmicas do leito do rio causou o descalço da fundação de um dos pilares, acarretando no deslizamento do mesmo. Este assunto será abordado com mais detalhes no Apêndice A.



**Figura 26** – Pilar desprendido do tabuleiro da ponte Arthur Schlosser devido à erosão nas fundações  
Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

A ponte foi reformada por empresa especializada, o pilar reconstruído e os blocos de fundação reforçados, tendo mais estacas e uma geometria robusta e favorável à correnteza. A posição geográfica da ponte está bem alinhada entre Norte e Sul, sendo que a direção do fluxo de tráfego aponta para o Sul.



**Figura 27** – Ponte Arthur Schlosser após reforma; orientações geográficas e, também em destaque, pilar reconstruído e blocos de fundação reforçados

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

A ponte foi inspecionada visualmente no começo de 2018, sendo a inspeção detalhada apresentada a seguir.

### 5.1.1 Laje

A laje sob a pista de rolamento da ponte se encontra em boas condições, não apresentando trincas ou armadura exposta. Já a parte da laje em balanço sob a passagem de pedestres está com armadura exposta, desprendimento do concreto e infiltrações.



**Figura 28** – Laje da ponte apresentando armadura exposta, infiltrações e desprendimento do concreto

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

O cobrimento dessa laje se mostra insuficiente, e uma pintura foi feita sobre a armadura exposta, mascarando o problema existente. Apesar de não ser usual, não existem pingadeiras na ponte, e a água que escorre pelas extremidades da laje para a superestrutura contribui para a deterioração do concreto e corrosão da armadura.

#### 5.1.2 Longarinas e Transversinas

Foram detectados um cobrimento insuficiente e armadura exposta e oxidada nas transversinas. Nesse foco de corrosão o concreto degradou e se desintegrou, com os agregados graúdos expostos, conforme figura a seguir.





**Figura 29** – Transversina com armadura exposta, corrosão e concreto deteriorado

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

Existe um dano de colisão na ponte causado por excesso de altura na avenida Beira Rio, dano este que afeta as longarinas e uma das transversinas.



**Figura 30** – Dano por colisão na longarina oeste da ponte

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

Este dano da colisão expôs o pequeno cobrimento de concreto que existe sobre os elementos da ponte.



**Figura 31** – Dano por colisão na longarina leste da ponte

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).



**Figura 32** – Dano por colisão em uma das transversinas da ponte  
Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).



**Figura 33** – Panorama do dano por colisão  
Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

Pedaços desse concreto degradado caíram sobre a pista, e um motorista, ao ver o ocorrido, invadiu a pista contrária para desviar do dano (GOUVÊA, 2018). Além do dano

estrutural na ponte, as consequências dessa colisão causam insegurança aos usuários, podendo até mesmo causar acidentes de trânsito, caso situações como esta, de queda de concreto, voltem a ocorrer.

### 5.1.3 Acessos

O acesso da entrada da ponte é o mais crítico, apresentando um desnível de aproximadamente dez centímetros na parte da calçada, dificultando o acesso de deficientes físicos.



**Figura 34** – Desnível significativo no acesso de pedestres da ponte

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

Já na pista de rolamento, o acesso da ponte com a via de acesso possui uma abrupta variação na angulação. A pista de acesso é uma subida, sendo que se torna plana imediatamente no começo da ponte; conforme observado na passagem de carros, ao entrarem na ponte causa um impacto indesejável, que dependendo da velocidade e frequência pode vir a prejudicar os automóveis e sobrecarregar a ponte.



**Figura 35** – Acesso da ponte com a via; variação abrupta de angulação e alto desnível no acesso de pedestres

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

Na linha do encontro, conforme pode ser verificado na figura acima, o pavimento se encontra danificado, apresentando crescimento de vegetação. A ausência do pavimento nessa linha de encontro também amplifica o impacto na entrada dos automóveis na ponte.

#### 5.1.4 Encontros

Existem dois encontros na ponte, um executado com pedras sobrepostas para a contenção, e o outro misto, com concreto na base seguido das pedras. Na parte inferior do encontro misto da ponte foram constatados nichos de concretagem na base da estrutura de contenção do volume de terra.



**Figura 36** – Encontro sul; em destaque, nicho de concretagem na base da estrutura de contenção de terra

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

O outro encontro está em bom estado, e não foram constatadas inclinações ou movimentação dos blocos de concreto.

#### 5.1.5 Pavimento

Salvo o pavimento danificado nas entradas, conforme comentado no tópico 5.1.3, o pavimento se encontra em bom estado, não apresentando fissuras, buracos, desníveis ou degradação.

#### 5.1.6 Peitoril

Na inspeção do peitoril foi constatada armadura exposta, com corrosão na armadura e deslocamento do concreto.



**Figura 37** – Armadura exposta e corroída no peitoril; em destaque, fissura devido à corrosão da barra vertical

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

O peitoril também apresenta fissuras no concreto devido à corrosão da barra vertical, conforme figura acima.

#### 5.1.7 Pilares

Os pilares da ponte se encontram, de maneira geral, em bom estado; os pilares em contato com o rio Itajaí Mirim foram reparados no processo da reforma da ponte, não apresentando desaprumos, corrosão, trincas, nichos de concretagem ou sinais de desagregação no concreto. Já os últimos dois pilares na direção sul da ponte, que ligam a superestrutura à avenida Beira Rio, não tiveram melhorias na reforma, havendo nestes, nichos de concretagem e armadura exposta, com pintura efetuada sobre essas anomalias.



**Figura 38** – Topo de pilar sul com nicho de concretagem e armadura exposta

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

#### 5.1.8 Infraestrutura

Por mera análise visual não é possível determinar a condição final da infraestrutura da ponte, porém pelo que foi verificado com o nível do rio baixo, é que não existem sinais de novos problemas relacionados à fundação. O fato dos reparos terem sido realizados recentemente nos elementos da infraestrutura reforça o posicionamento da avaliação positiva, porém esse fator não descarta a necessidade de inspeções periódicas submersas, especialmente após eventos de cheia no município.

#### 5.1.9 Calçadas

As calçadas não apresentam desníveis, concreto deteriorado, corrosão ou armaduras expostas. Foi verificada em uma das calçadas a existência de uma trinca que, no ponto mais crítico chega a medir 8 mm. de largura.





**Figura 39** – Trinca na calçada da ponte

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

#### 5.1.10 Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem está em bom estado, não apresenta problemas relacionados à entupimento dos canos ou estagnação de água na pista em dias de chuva.



**Figura 40** – Dreno da Ponte

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).



**Figura 41** – Tubulação de Drenagem

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

De um modo geral a condição é boa, salvo a ausência de pingadeiras que causa a degradação do concreto, conforme mencionado em 5.1.1 Laje.

#### 5.1.11 Suporte das Tubulações

O suporte da tubulação está em bom estado visual, não apresentando corrosão nos elementos ou ausência de parafusos.



**Figura 42** – Suporte das Tubulações

Fonte: Ana Elisa Boettger (2017).

### 5.1.12 Apoios

Os apoios da ponte são fixos e de concreto, do tipo Freyssinet, que são articulações fixas e consistem em uma redução da seção da peça a articular (DNIT 091/2006). Se encontram em bom estado, sem necessidade de reparos.



**Figura 43** – Apoio ponte Arthur Schlosser

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

### 5.1.13 Outros

A ponte em questão não possui juntas de dilatação, guarda rodas e dentes gerber. Tanto a ala norte quanto a sul estão em bom estado, não apresentando manifestações patológicas. O meio-fio está em bom estado físico também.

## 5.2 AVALIAÇÃO DA PONTE ARTHUR SCHLOSSER PELO MÉTODO DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DO BRASIL

A avaliação da ponte foi feita com base nos elementos inspecionados que ela possui, avaliados de acordo com o método do DNIT a partir da inspeção detalhada apresentada acima, e estão apresentadas na Tabela abaixo.

**Tabela 10** – Avaliação dos Elementos da Ponte Arthur Schlosser pelo método DNIT

Elemento	Danos no Elemento / Insuficiência Estrutural	Ação Corretiva	Nota	Classificação das Condições da Ponte
Laje	Armadura exposta, desprendimento do concreto, cobrimento insuficiente, ausência de pingadeiras e infiltrações / Há alguns danos mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	A recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática	4/3	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
Longarinas e Transversinas	Cobrimento insuficiente, concreto degradado, dano de colisão, armadura exposta e oxidada / Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo	3/2	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 Intermediárias são recomendáveis para monitorar os problemas.
Acessos	Desnível significativo, abrupta variação na angulação e pavimento degradado no encontro / Há alguns danos mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	A recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática	4/3	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

<b>Elemento</b>	<b>Danos no Elemento / Insuficiência Estrutural</b>	<b>Ação Corretiva</b>	<b>Nota</b>	<b>Classificação das Condições da Ponte</b>
Encontros	Nichos de Concretagem / Há alguns danos mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	A recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática	4/3	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
Pavimento	Não há danos nem insuficiência estrutural	Nada a fazer	5	Obra sem Problemas
Peitoril	Armadura exposta, corrosão, fissuras e deslocamento do concreto / Há alguns danos mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	A recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática	4/3	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
Pilares	Nichos de Concretagem, armadura exposta / Há alguns danos mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	A recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática	4/3	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
Infraestrutura	Não há danos nem insuficiência estrutural	Nada a fazer	5	Obra sem Problemas
Calçadas	Trinca / Há alguns danos mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	A recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática	4/3	Obra sem Problemas Importantes
Sistema de Drenagem	Não há danos	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção	5	Obra sem Problemas
Suporte das Tubulações	Não há danos	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção	5	Obra sem Problemas
Apoios	Não há danos	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção	5	Obra sem Problemas
<b>Nota Final</b>			<b>2</b>	

Para alguns elementos foram atribuídas duas notas, uma em relação ao Dano no Elemento / Insuficiência Estrutural, e a outra diz respeito à coluna da Ação Corretiva. Por exemplo, existem alguns danos que não estão causando insuficiência estrutural, mas nem por isso a ação corretiva adequada seria “Nada a fazer; apenas serviços de manutenção”. Nesses casos, foi atribuída uma nota para cada coluna e na avaliação final da ponte foi considerada a menor nota para representar aquele elemento. Para o caso das Longarinas e Transversinas, devido a colisão que ocorreu e gerou um dano aparente crítico, foi escolhida a nota 3 para a insuficiência estrutural, pois os danos estão gerando alguma insuficiência estrutural, apesar de não terem sido reportados danos aparentes de comprometimento da estabilidade de ponte; já para a ação corretiva, não é recomendável que seja postergada ou que o problema seja colocado em observação sistemática, a recuperação deve ser feita em curto prazo, indo de encontro à segurança e vida útil da estrutura. Vale ressaltar que para esse caso, na prática, seria solicitada uma inspeção extraordinária para avaliar mais detalhadamente o impacto daquele dano, considerando o projeto da ponte e utilizando ensaios para determinar quantitativamente a extensão e intensidade desses danos. Considerando as notas acima, para a ponte a nota final é 2, sendo classificada de acordo com a Tabela 3 como Obra Problemática: caso a recuperação seja muito postergada, a ponte pode ficar em um estado crítico, comprometendo sua vida útil.

### **5.3 AVALIAÇÃO DA PONTE ARTHUR SCHLOSSER PELO MÉTODO DA *AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) – ESTADOS UNIDOS***

Conforme discutido no Capítulo 4, a inspeção da ponte vai seguir as diretrizes da inspeção a nível de elemento da ponte, por se mostrar mais completa e eficiente para fins de manutenção. Neste método, cada elemento da ponte é avaliado e a ele é atribuída uma condição de estado, que pode ser boa (1), razoável (2), pobre (3) ou severa (4).

O *Bridge Element Inspection Guide Manual* define 4 estados de condição para os principais defeitos encontrados, e ações viáveis dependendo do grau de dano e do elemento, conforme tabela abaixo.

**Tabela 11** – Ações Viáveis para cada grau de condição do elemento genérico de Concreto Armado

<b>Estado de Condição 1 - Bom</b>	<b>Estado de Condição 2 - Razoável</b>	<b>Estado de Condição 3 - Pobre</b>	<b>Estado de Condição 4 - Severo</b>
Nada a fazer	Nada a fazer	Nada a fazer	Nada a fazer
Proteger	Proteger	Proteger	Reabilitar
	Reparar	Reparar	Substituir
		Reabilitar	

Fonte: AASHTO (2010).

Cabe ao inspetor definir a ação viável para cada dano, respeitando as ações para cada grau de condição. Segundo o manual, a diferença conceitual entre reparar e reabilitar está no tratamento do problema que originou o dano. Uma armadura exposta e corroída pode ser reparada se a corrosão for tratada; e reabilitada se, além do reparo, a causa que gerou a corrosão for mitigada; por exemplo, um sistema de drenagem ineficiente pode ter gerado infiltrações e causado a corrosão. Ao reabilitar, esse sistema deve ser melhorado.

Para esses estados de condição, as atribuições das avaliações foram feitas com base em tabela de orientação com algumas informações quantitativas, fornecida pelo *Bridge Element Inspection Guide Manual*, exibida na Tabela 5.

**Tabela 12** – Tabela Orientativa para Classificação dos Danos de Elementos em Concreto Armado

<b>Defeito</b>	<b>Muito fino - Pequeno</b>	<b>Estreito - Moderado</b>	<b>Médio - Severo</b>
Fissuras	1,6 mm	1,6 até 3,2 mm	> 3,2 mm
Desplacamentos /Desagregações	Não se aplica	Menos de 25 mm de profundidade ou menos de 152,4 mm em diâmetro. Armadura não exposta	Mais de 25 mm de profundidade, mais de 152,4 mm de diâmetro ou armadura exposta
Densidade das Fissuras	Espaçamento entre as fissuras maior que 0,33 m	Espaçamento entre as fissuras: 0,33 - 1m.	Espaçamento entre as fissuras menor do que 0,33 m
Eflorescência	Não se aplica	Superfície branca, sem acúmulo ou lixiviação	Grande acúmulo, com coloração de ferrugem

Fonte: AASHTO (2010).

A maioria dos elementos de concreto armado do *Bridge Element Inspection Guide Manual* são avaliados com base nas tabelas de defeito e ações viáveis acima; os casos onde as tabelas mudam serão citados e as novas tabelas apresentadas. Este método divide a ponte em elementos pré-estabelecidos, facilitando a avaliação, não deixando a escolha da divisão dos

elementos de modo tão subjetivo. É importante destacar que o método AASHTO não possui um defeito prescrito como “Nicho de Concretagem”; este é um defeito construtivo, mas que pode ficar mais crítico com o tempo, permitindo a entrada de agentes externos que degradam o concreto e a armadura. Nos elementos com esse defeito, a análise será feita com base no defeito de Desplacamentos /Desagregações, pois este fornece orientações quanto a gravidade do problema se baseando na exposição de armaduras ou não. A consideração que justifica essa escolha é referente ao fato de que se há armadura exposta, seja por nicho de concretagem ou desagregação, o problema está em nível crítico semelhante, podendo ser classificado no intervalo de Médio-Severo, conforme tabela 12 acima.

A avaliação foi efetuada e é exibida conforme segue.

### 5.3.1 Avaliação dos Elementos definidos como *National Bridge Elements* (NBE)

- **Laje de concreto:** Este elemento define toda a plataforma / laje da ponte de concreto armado, independentemente da superfície de desgaste ou dos sistemas de proteção utilizados. A avaliação foi feita para o estado de condição de cada defeito, e os resultados são mostrados na Tabela 13.

**Tabela 13** – Avaliação do elemento laje pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Fissuras	2 - Razoável	Tamanho e/ou densidade estreitas	Reparar
Desplacamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	3 - Pobre	Desplacamento severo	Reabilitar (inserir pingadeiras, mitigar a causa do dano)
Eflorescência	1 - Bom	Não há eflorescência	Nada a fazer
Capacidade de Carga	1 - Bom	Não há redução	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

- **Longarinas e Transversinas:** As tabelas para avaliação das Longarinas e Transversinas são as mesmas, e por apresentarem a mesma avaliação para os defeitos, resultou no agrupamento exibido a seguir.



**Tabela 14** – Avaliação das Longarinas e Transversinas pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Fissuras	4 - Severo	A condição está além dos limites estabelecido no estado de condição 3, e justifica uma revisão estrutural para determinar a resistência ou manutenção do elemento/ ponte.	Reparar
Deslocamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	4 - Severo	A condição está além dos limites estabelecido no estado de condição 3, e justifica uma revisão estrutural para determinar a resistência ou manutenção do elemento/ ponte.	Reparar
Eflorescência	1 - Bom	Não há eflorescência	Nada a fazer
Capacidade de Carga	4 - Severo	Redução na capacidade estrutural, que necessitar ser melhor avaliada; justifica uma revisão estrutural para determinar a resistência da ponte	Reparar

Fonte: AASHTO (2010).

O choque na ponte causou fissuras e deslocamentos acima do tolerável pelo estado de condição 3; fissuras maiores do que 25 mm., vergalhões expostos e deslocamentos. A respeito da Capacidade de Carga, o método da AASHTO não define 4 estados de condição; se houve redução na capacidade de carga, automaticamente é classificado como 4 - Severo. Por medida de segurança, foi adotada a classificação de que houve uma diminuição na capacidade de carga, e a ação viável é fazer uma revisão estrutural na ponte, conforme recomendado pelo método, para posterior recuperação.

- **Pilares:** Os pilares que não tem contato com o rio (em nível normal), não foram reparados recentemente, com pintura efetuada sobre patologias.

**Tabela 15** – Avaliação dos Pilares pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Fissuras	2 - Razoável	Tamanho e densidade pequenos	Nada a fazer
Deslocamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	3 - Pobre	Nicho de concretagem com armadura exposta	Reparar

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Eflorescência	1 - Bom	Não há eflorescência	Nada a fazer
Capacidade de Carga	1 - Bom	Não há redução	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

- **Encontros:** A ponte possui dois encontros, sendo um deles muro de arrimo e o outro misto, composto por concreto na base seguido do arrimo, conforme pode ser observado na Figura 36. O *Brige Element Inspection Guide Manual* divide a avaliação dos encontros de acordo com o material construtivo; nesse caso, para avaliar os encontros são utilizadas duas tabelas avaliativas, uma para o componente de concreto e a outra para o muro de arrimo.
- **Encontro em Muro de Arrimo:** Nessa avaliação, como o material construtivo não é concreto armado, as tabelas com os principais defeitos, orientações quantitativas e ações viáveis mudam. O elemento de avaliação que engloba o Muro de Arrimo, genericamente abrange todos os encontros construídos de bloco ou pedra, com ou sem argamassa.

**Tabela 16** – Ações Viáveis para cada grau de condição do elemento de Pedra ou Bloco

<b>Estado de Condição 1 - Bom</b>	<b>Estado de Condição 2 - Razoável</b>	<b>Estado de Condição 3 - Pobre</b>	<b>Estado de Condição 4 - Severo</b>
Nada a fazer	Nada a fazer	Nada a fazer	Nada a fazer
Proteger	Proteger	Proteger	Reabilitar
		Reparar	Substituir
		Reabilitar	

Fonte: AASHTO (2010).

**Tabela 17** – Tabela Orientativa para Classificação dos Danos de Elementos em Pedra ou Bloco

<b>Defeito</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>
Fissuras	0,5 - 2 mm.	> 2mm.
Densidade das Fissuras	0,33 - 1 m	< 0,33 m
Quebra de Argamassa	Fissuras ou vazios em menos de 10% das juntas de argamassa	Fissuras ou vazios em mais de 10% das juntas de argamassa
Eflorescência	Superfície branca sem acúmulo ou lixiviação	Acúmulo pesado com manchas de ferrugem

Fonte: AASHTO (2010).

Com base nas tabelas acima, o encontro em Muro de Arrimo foi avaliado:

**Tabela 18** – Avaliação do Encontro em Muro de Arrimo pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Quebra de Argamassa	1 - Bom	Não há argamassa entre os blocos	Nada a fazer
Fissuras / Deslocamentos	1 - Bom	Não há fissuras pois não há argamassa, e os blocos não apresentam deslocamentos	Nada a fazer
Eflorescência	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Áreas Remendadas	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Capacidade de Carga	1 - Bom	Não há redução	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

- **Encontro de Concreto Armado:** Esse encontro foi avaliado com base nas Tabelas 4 e 5, por se tratar de concreto armado. Conforme verificado na inspeção visual, a principal anomalia na base de concreto era o nicho de concretagem, com dimensões profundas, agregados salientes e armadura exposta.

**Tabela 19** – Avaliação do Encontro de Concreto Armado pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Fissuras	2 - Razoável	Tamanho e/ou densidade estreitos	Nada a fazer
Desplacamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	3 - Pobre	Nicho de concretagem com armadura exposta	Reparar
Eflorescência	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Capacidade de Carga	1 - Bom	Não há	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

- **Bloco de Fundação:** Este elemento define os blocos de concreto armado que são normalmente submersos na água e visíveis para inspeção. Os blocos expostos por erosão ou que fazem parte da inspeção do mergulhador são incluídos neste elemento (*Brige Element Inspection Guide Manual, 2010*). Devido ao baixo nível do rio na data de inspeção da ponte, foi possível avaliar visualmente os blocos de fundação. Como os blocos foram refeitos recentemente, aparentemente não apresentam

problemas, mas isso não descarta uma inspeção por mergulhador, para avaliar melhor e mais precisamente o estado desses blocos.

**Tabela 20** – Avaliação dos Blocos de Concreto pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Fissuras	1 - Bom	Apenas fissuras capilares visíveis	Nada a fazer
Desplacamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Eflorescência	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Capacidade de Carga	1 - Bom	Não há	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

- **Estacas:** No elemento de avaliação das estacas estão incluídas as estacas inspecionadas por mergulhador ou expostas devido à erosão (adaptado de *Brige Element Inspection Guide Manual, 2010*). Para apresentar e comparar os métodos de avaliação das pontes, será partido do pressuposto que pela recente reforma e reparos nas fundações, não existem problemas nas fundações da ponte. Reiterando que, na prática, uma inspeção submersa seria necessária.

**Tabela 21** – Avaliação dos Blocos das estacas pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Fissuras	1 - Bom	Sem fissuramento	Nada a fazer
Erosão do Leito do Rio	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Recalque	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Desplacamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Eflorescência	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Capacidade de Carga	1 - Bom	Não há redução	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

As orientações quantitativas dos defeitos são as mesmas que as apresentadas na Tabela 5.

- **Apoios:** Os apoios de concreto estão em bom estado, sem necessidade de reparos.

**Tabela 22** – Avaliação dos apoios pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Alinhamento	1 - Bom	Bom alinhamento	Nada a fazer
Condição	1 - Bom	Sem deterioração	Nada a fazer
Capacidade	1 - Bom	Não há redução	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

- **Peitoril:** Conforme verificado na inspeção, o peitoril tem armadura exposta, fissuras devido a corrosão das armaduras e deslocamento do concreto.

**Tabela 23** – Avaliação do Peitoril pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Fissuras	3 - Pobre	Fissuras Médias	Reabilitar (tratar corrosão: causa das fissuras)
Deslocamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	4 - Severo	Deslocamento intenso com armadura exposta	Reabilitar (tratar corrosão: causa dos deslocamentos)
Eflorescência	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Capacidade de Carga	1 - Bom	Não há	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

### 5.3.2 Avaliação dos Elementos definidos como *Bridge Management Elements* (BME)

Alguns elementos BME's não estão presentes na ponte Arthur Schlosser; a ponte não possui juntas de dilatação ou sistemas de proteção (como revestimentos, impermeabilizantes ou barreiras que protegem o concreto). Os elementos aplicáveis estão avaliados conforme segue.

- **Acessos:** Conforme verificado na inspeção dos acessos, existe um assentamento na pista de entrada da ponte. Essa diferença de nível e abrupta variação da angulação causam um impacto na passagem dos veículos. Também há fissuras e crescimento de vegetação na junção da estrada com entrada da ponte.

**Tabela 24** – Avaliação dos Acessos pelo método AASHTO

Defeito	Estado de Condição	Descrição	Ações Viáveis
Fissuras	3 - Pobre	Fissuras e densidade de fissuras média nos acessos da ponte	Reparar
Desplacamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	3 - Pobre	Área do pavimento remendada, pavimento desagregado na entrada da ponte com crescimento de vegetação	Reparar
Eflorescência	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Recalque	3 - Pobre	Recalque de 40 mm. na entrada da ponte	Reparar
Capacidade de Carga	1 - Bom	Até então não há redução visível na capacidade do acesso	Nada a fazer; monitorar após reparos recomendados acima

Fonte: AASHTO (2010).

- **Pavimento:** Este elemento engloba todas as lajes que possuem sobreposições, como asfalto flexível, semirrígido (material epóxi e poliéster) ou em concreto rígido (AASHTO, 2010). Para avaliar quantitativamente e classificar adequadamente o estado de condição do pavimento, o *Brige Element Inspection Guide Manual* fornece a tabela a seguir.

**Tabela 25** – Tabela Orientativa para Classificação dos danos em Pavimentos

Defeito	Pequeno	Moderado	Severo
Fissuras	< 0,5 mm	0,5 - 2,0 mm.	> 2,0 mm
Densidade das Fissuras	Não se aplica	0,33 - 1 m	< 0,33 m

Fonte: AASHTO (2010).

Dois novos itens de defeito são incluídos; buracos e eficácia. A avaliação foi feita para o pavimento da ponte, sendo que o pavimento dos acessos foi avaliado e classificado acima, em Acessos.

**Tabela 26** – Avaliação do Pavimento pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Deslocamentos/ Desagregações / Áreas remendadas / Buracos	1 - Bom	Não há esses defeitos presentes	Nada a fazer
Fissuras	1 - Bom	Apenas algumas fissuras pequenas	Nada a fazer
Eficácia	1 - Bom	Boa condição, totalmente eficaz	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

- **Fatores Ambientais:** Elementos expostos a diferentes condições ambientais deterioram-se de formas diferente. Esses fatores incluem:
  - Atividades operacionais dos movimentos de tráfego e caminhões
  - Exposição à água, sal e outros materiais corrosivos
  - Condição de sistemas de proteção e impermeabilização
  - Extremos de temperatura

Ao inventariar e avaliar a condição dos elementos, o *Brige Element Inspection Guide Manual* frisa que o inspetor deve considerar o ambiente em que o elemento está operando. Este manual elenca três principais exemplos de fatores ambientais para pontes de concreto: ciclos de congelamento e descongelamento, desgaste do pavimento pelas correntes no pneu e o sal que é inserido na pista para descongelamento. No Brasil, por não termos incidência de neve no país (salvo algumas exceções), esses fatores não se aplicam. Porém, os manuais e normas brasileiros para inspeção de pontes não dão ênfase suficiente às condições ambientais no entorno da obra, que desencadeiam e interferem nas manifestações patológicas; sendo assim, a consideração conjunta das manifestações patológicas observadas nas obras-de-arte, dos aspectos mecânicos dessas estruturas, e dos aspectos ambientais que possam exercer influência sobre seu desempenho e sua vida útil, permite a realização de inspeções mais completas e criteriosas dessas estruturas (LENCIONI, 2005). O *Brige Element Inspection Guide Manual* fornece a seguinte tabela de classificação do Meio Ambiente:

**Tabela 27** – Tabela de Classificação da Ponte de acordo com o Meio Ambiente

<b>Meio Ambiente</b>	<b>Descrição</b>
1 - Benigno	Nem fatores ambientais nem práticas operacionais são suscetíveis de alterar significativamente a condição do elemento ao longo do tempo ou seus efeitos foram mitigados pela presença de sistemas de proteção altamente eficazes.
2 - Baixo	Fatores ambientais e / ou práticas operacionais não influenciam negativamente a condição do elemento ou seus efeitos são substancialmente reduzidos pela aplicação de sistemas de proteção eficazes.
3 - Moderado	Qualquer alteração na condição do elemento é normal contra os fatores ambientais e / ou práticas operacionais consideradas típicas pela agência.
4 - Severo	Fatores ambientais e / ou práticas operacionais contribuem para o rápido declínio da condição do elemento. Sistemas de proteção não estão no lugar ou são ineficazes.

Fonte: AASHTO (2010).

Considerando o histórico de cheias da cidade, a classificação adotada para a ponte foi 3 – Pobre. Muitas circunstâncias da ponte não podem ser alteradas após a construção, mas existem meios de amenizar a erosão do leito do rio, especialmente em épocas de cheias. Sistema de controle de nível e velocidade da água ou aparelhos defletores de água e de entulhos já reduzem os danos que a alta velocidade e volume desproporcional de água causam na ponte, porém esses sistemas não estão sendo eficientes por ausência de manutenção. A questão da interdição da Arthur Schlosser será abordada no Apêndice A, onde meios de mitigar esse problema serão apresentados mais detalhadamente.

O manual da AASHTO não define elementos de drenagem ou suporte das tubulações como NBE ou BME. Nesse caso fica a cargo das agências a avaliação desse elemento e das suas particularidades; no caso da ponte Arthur Schlosser, ambos os elementos estão em bom estado, e na prática as informações e fotos da inspeção constam no relatório da avaliação, justificando a classificação para “1-Bom”.



#### 5.4 AVALIAÇÃO DA PONTE ARTHUR SCHLOSSER PELO MÉTODO DO MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE, TRANSPORT AND TOURISM (MLIT) – JAPÃO

O MLIT fornece uma tabela avaliativa englobando todos os tipos de ponte, como pontes estaiadas, de aço ou em arco, e seus elementos constituintes; cabo externo, arco, treliça, unidade de fixação do concreto protendido, entre outros. Vinte e seis tipos de danos são prescritos, levando em conta o material e modelo estrutural da ponte. A Tabela a seguir foi traduzida e reduzida, mantendo apenas os elementos das pontes de interesse em concreto armado e os danos genéricos que eles podem sofrer.

**Tabela 28** – Danos Prescritos para as Pontes do Estudo de Caso

Classificação da parte / membro	Itens Alvo		Tipo de Dano
Superestrutura (Concreto)	Viga Principal Apoios entre as vigas / Dente Gerber Viga Transversal Viga Longitudinal Laje		6 - Fissuras 7 - Desagregação, Armadura Exposta 8 - Eflorescência, Cal Livre 9 - Buracos na Laje* 10 - Reparos, Danos de Reforço 11 - Rachaduras na Laje 19 - Descoloração 20 - Vazamentos, Infiltração 21 - Som anormal, Vibração 22 - Deflexão anormal
	Pilares Concreto	Parede do Pilar	23 - Deformação, Deficiência
Cantos / Juntas			
Subestrutura	Fundação		6 - Fissuras 7 - Desagregação, Armadura Exposta 25 - Recalque, Movimentação, Inclinação 26 - Erosão
Apoios	Apoios de Concreto		6 - Fissuras 7 - Desagregação, Armadura Exposta 20 - Vazamentos, Infiltração 23 - Deformação, Deficiência
Peitoril	Peitoril de Concreto		6 - Fissuras 7 - Desagregação, Armadura Exposta 8 - Eflorescência, Cal Livre 10 - Reparos, Danos de Reforço

<b>Classificação da parte / membro</b>	<b>Itens Alvo</b>	<b>Tipo de Dano</b>
		19 - Descoloração 23 - Deformação, Deficiência
Meio-fio/ Calçadas	Concreto	6 - Fissuras 7 - Desagregação, Armadura Exposta 8 - Eflorescência, Cal Livre 19 - Descoloração 23 - Deformação, Deficiência
Pavimento	Pavimento Asfáltico	14 - Irregularidade da Superfície da Estrada 15 - Anormalidade do Pavimento 24- Entupimento Drenagem, Crescimento de Vegetação
Drenagem	Dreno (material: Outros) Tubo de drenagem (material: Outros)	4 - Quebrado 19 - Descoloração 20 - Vazamentos, Infiltração 23 - Deformação, Deficiência 24- Entupimento Drenagem, Crescimento de Vegetação
Encontros / Muro de Retenção Talude (Concreto)		6 - Fissuras 7 - Desagregação, Armadura Exposta 8 - Eflorescência, Cal Livre 19 - Descoloração 23 - Deformação, Deficiência 25 - Movido, Inclinado
Suporte das Tubulações	Aço	1 - Corrosão 2 - Clivagem 3 - Frouxidão 4 - Quebrado 5 - Degradação da função de proteção contra corrosão 21 - Som anormal, Vibração 22 - Deflexão anormal 23 - Deformação, Deficiência

\* Desprendimento do concreto da armadura da laje, com pedaços caindo, buracos; também classificar como 9 caso esse dano esteja notavelmente prestes a ocorrer.

Fonte: Adaptado de MLIT (2004).

É importante destacar que o método MLIT não possui um defeito prescrito como “Nicho de Concretagem”; este é um defeito construtivo, mas que pode ficar mais crítico com o tempo, permitindo a entrada de agentes externos que degradam o concreto e a armadura. Nos elementos

com esse defeito, a análise será feita com base no defeito 7- Desagregação, Armadura Exposta pois este defeito fornece orientações quanto a gravidade do problema se baseando na exposição das armaduras ou se estão corroídas/quebradas. A consideração que justifica essa escolha é referente ao fato de que se há armadura exposta, corroída e quebrada, seja por nicho de concretagem ou desagregação, o problema está em nível crítico semelhante, podendo ser classificado no mesmo grau de severidade.

Primeiramente, os elementos foram avaliados de maneira objetiva, classificando a magnitude dos danos, e após essa classificação foi avaliado o grau de Manutenção e Reparo, com base nas descrições da Tabela 6.

### Superestrutura

- **Vigas:** O defeito crítico das vigas, tanto longarinas como transversinas, é devido ao choque por veículo que excedeu o gabarito da ponte. Nesse caso, por também ter afetado o vigamento interno, o segmento é tratado como um só. As anomalias verificadas são:
  - 6 – Fissuras
  - 7 - Desagregação, Armadura Exposta
  - 23 - Deformação, Deficiência

**Tabela 29** – Avaliação das Vigas da Ponte pelo Método MLIT

<b>Dano</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Orientação Quantitativa</b>
6 -Fissuração	e	A largura e densidade das fissuras são grandes	<b>Largura das fissuras:</b> estrutura de concreto armado: de 0,3 mm ou mais, considerado grande <b>Densidade das Fissuras:</b> O intervalo mínimo de fissuração é inferior à 0.5 m, considerado grande
7 - Desagregação, Armadura Exposta	e	Classificação para quando o vergalhão é exposto e as barras estão corroídas ou quebradas. No caso da ponte, estribos quebrados e parte da armadura exposta visivelmente deformada	Não há

Dano	Classificação	Descrição	Orientação Quantitativa
23 - Deformação, Deficiência	e	Membro parcialmente deformado localmente, com partes ausentes	Não há

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparos das Vigas:** As vigas estão em Estado IV: Fase de medidas de emergência (conforme Tabela 5), se enquadrando nas classificações E1 e E2. E1 pois do ponto de vista da segurança estrutural, é necessário a análise e atendimento aos danos, e E2 pois existe a preocupação com danos aos usuários, visto que pedaços de concreto já caíram sobre a via Beira Rio. Também é recomendável uma investigação detalhada e pesquisa de acompanhamento, para averiguar as consequências daquele choque na estrutura da ponte como um todo, e não somente reparar os danos visíveis; nesse caso da pesquisa de acompanhamento, se enquadra na classificação como S2.
- **Laje:** Conforme verificado na inspeção, a parte da laje em balanço sob a passagem de pedestres está com armadura exposta, desprendimento do concreto e infiltração localizada, mas não existem rachaduras ou maiores danos na laje. Danos existentes:
  - 7 - Desagregação, Armadura Exposta
  - 20 - Vazamentos, Infiltração

Para fins de sistema de gerenciamento de dados e monitoramento da evolução dos danos, que não fazem parte do escopo deste trabalho, na inspeção a parte da laje em boas condições também deve ser registrada e avaliada; no caso, se enquadraria como “a” por possuir apenas fissuras capilares e unidirecionais.

**Tabela 30** – Avaliação da Laje da Ponte pelo Método MLIT

Dano	Classificação	Descrição	Orientação Quantitativa
7 - Desagregação, Armadura Exposta	e	Classificação para quando o vergalhão é exposto e as barras estão corroídas ou quebradas. No caso da laje, está com armadura exposta e oxidada	Não há

<b>Dano</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Orientação Quantitativa</b>
20 - Vazamentos, Infiltração	e	Para infiltração de água ou vazamentos, o MLIT não define categorias intermediárias. Se não há esse dano, é "a"; se houver, é automaticamente "e"	Não há

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparos da Laje:** A laje está em estado III: Fase de medição antecipada (conforme Tabela 5), classificada como C2, pois existe a possibilidade de prejudicar a função da ponte, o dano está progredindo com o tempo e é relevante para a função e segurança da ponte. Medidas devem ser tomadas o quanto antes.

As longarinas da ponte são contínuas, não havendo apoios entre as vigas ou dentes Gerber para avaliar.

#### Subestrutura

- **Pilares:** Conforme citado na inspeção da ponte, os últimos dois pilares na direção sul, que ligam a superestrutura à avenida Beira Rio, não tiveram melhorias na reforma, havendo nestes, nichos de concretagem e armadura exposta, com pintura efetuada sobre essas anomalias. Os cantos dos pilares não apresentam problemas.
  - 7 - Desagregação, Armadura Exposta

**Tabela 31** – Avaliação dos Pilares da Ponte pelo Método MLIT

<b>Dano</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Orientação Quantitativa</b>
7 - Desagregação, Armadura Exposta	d	Classificação para quando a armadura está exposta, mas a corrosão é pequena ou inexistente.	Não há

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparos dos Pilares:** Os pilares estão na fase II: Estágio de manutenção preventiva (conforme Tabela 5), e são classificados como C1. No momento, não há problema para a função da ponte, mas é necessário tomar uma atitude com relação ao dano, por manutenção preventiva.
- **Fundação:** Conforme descrito em 5.1.8, por mera análise visual não é possível determinar a condição final da infraestrutura da ponte, porém pelo que foi verificado com o nível do rio baixo, é que não existem sinais de novos problemas relacionados à fundação. O fato dos reparos terem sido realizados recentemente nos elementos da infraestrutura reforça o posicionamento da avaliação positiva, e para fins avaliativos está sendo considerado que não existem danos.
- **Classificação de Manutenção e Reparos das Fundações:** As fundações estão no Estado I: Bom estado, sendo classificadas como “A” para a M&R, onde nenhum dano é encontrado ou o dano é pequeno e não há necessidade de reparo.

**Apoios:** Conforme verificado na inspeção, os apoios estão em bom estado.

- **Classificação de Manutenção e Reparos dos Apoios:** Estado I: Bom estado, classificação “A” para M&R, pois não foram encontrados danos.

**Peitoril:** O peitoril está com corrosão na armadura e deslocamento do concreto, além de fissuras devido à corrosão.

- 6 – Fissuras
- 7 – Desagregação, Armadura Exposta

**Tabela 32** – Avaliação do Peitoril da Ponte pelo Método MLIT

Dano	Classificação	Descrição	Orientação Quantitativa
6 -Fissuração	c	A largura da fissura é média, porém em pequena densidade; ocorreu devido a corrosão	<b>Largura das fissuras:</b> estrutura de concreto armado: entre 0.2 e 0.3 mm é considerado médio <b>Densidade das Fissuras:</b> O intervalo mínimo de fissuração é superior à 0.5 m, considerado pequeno

Dano	Classificação	Descrição	Orientação Quantitativa
7 - Desagregação, Armadura Exposta	e	Classificação para quando a armadura é exposta e as barras estão corroídas ou quebradas. No caso do peitoril, as duas situações estão presentes.	Não há

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparos do Peitoril:** O peitoril está no Estado II: Estágio de Manutenção Preventiva, e é classificado como C1, onde do ponto de vista de manutenção preventiva é necessário realizar os reparos para cessar a progressão do dano. O ponto de corrosão deve ser tratado e o cobrimento e fissuras reparados; toda a extensão dos peitoris deve ser avaliada para verificar a existência de corrosão, mesmo que a armadura ainda não esteja exposta em todos os elementos.

**Meio-Fio e Calçada:** O meio-fio e a calçada estão em boas condições físicas, salvo a fissura por possível retração na calçada.

**Tabela 33** – Avaliação do meio-fio e calçadal da Ponte pelo Método MLIT

Dano	Classificação	Descrição	Orientação Quantitativa
6 -Fissuração	d	A largura da fissura é grande, porém em pequena densidade.	<b>Largura das fissuras:</b> estrutura de concreto armado: de 0,3 mm ou mais, considerado grande <b>Densidade das Fissuras:</b> O intervalo mínimo de fissuração é superior à 0.5 m, considerado pequeno

Fonte: MLIT (2004).

Os danos genéricos da Tabela 28 são recomendações do que deve ser avaliado, e o inspetor tem liberdade de registrar outros danos. O acesso de pedestres da ponte Arthur

Schlosser possui um desnível elevado em relação a calçada da via que dá acesso a ponte; a correção desse desnível pode ser tratada no elemento Meio-Fio e Calçada, com a construção de uma rampa para integrar as calçadas. Nesse caso, não existe uma classificação de dano de “a” à “e”, mas sim uma classificação de reparo visando melhorias.

- **Classificação de Reparo do Meio-Fio:** O elemento é classificado como E2, onde uma ação emergencial é necessária devido à preocupação com possibilidade de danos aos pedestres e motoristas. Nesse caso, seria uma possibilidade de dano aos pedestres e ciclistas, pois não existem ciclovias na ponte, e as bicicletas muitas vezes circulam pela calçada; esse desnível também dificulta a acessibilidade de deficientes físicos. A reparação da fissura também deve ser efetuada, para evitar sua progressão.

**Pavimento:** O pavimento se encontra em bom estado, não apresentando fissuras, buracos, desníveis ou degradação, conforme verificado na inspeção. O ponto crítico é a condição do pavimento no acesso à ponte, com pavimento degradado e crescimento de vegetação. Como o MLIT não defini um elemento de “Acesso”, essa anomalia será tratada neste item.

- 15 – Anormalidade do Pavimento
- 24 – Entupimento Drenagem, Crescimento de Vegetação

**Tabela 34** – Avaliação do Pavimento da Ponte pelo Método MLIT

<b>Dano</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Orientação Quantitativa</b>
15 - Anormalidade do Pavimento	e	Largura da fissura do acesso à ponte é grande.	5mm. ou mais
24- Entupimento Drenagem, Crescimento de Vegetação	e	Para esse dano, só existem 2 classificações; a ou e. Se o dano existe, é automaticamente e	Não há

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparos do Pavimento:** O pavimento está classificado como II: Estado de manutenção preventiva, e recebe a classificação M: Reparos necessários no decorrer do trabalho de manutenção regular. Há danos e para manter a função da peça e o membro em bom estado, é necessário ser tratado o mais rapidamente possível (MLIT, 2004).



**Drenagem:** O sistema de drenagem está em bom estado, não possui entupimento nos drenos ou canos danificados. O reparo do dano da ausência de pingadeiras que se manifestou na laje deve ser executado, mas também pode ser reabilitado caso sejam instaladas pingadeiras, complementando o sistema de drenagem.

- **Classificação de Reparo do Sistema de Drenagem:** Estado II: Manutenção preventiva, classificação C1. Após recuperar a laje naquele ponto, não é emergencial que se instale pingadeiras, mas a longo ou médio prazo vai diminuir a incidência de manifestações patológicas.

**Encontros:** No encontro sul existe um nicho de concretagem, com agregados já salientes, e parte da armadura exposta.

- 7 – Desagregação, Armadura Exposta

**Tabela 35** – Avaliação dos Encontros da Ponte pelo Método MLIT (MLIT, 2004)

Dano	Classificação	Descrição	Orientação Quantitativa
7 - Desagregação, Armadura Exposta	d	Classificação para quando a armadura está exposta mas as barras não estão demasiadamente corroídas ou quebradas.	Não há

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparo dos Encontros:** Estado II: Manutenção preventiva, classificação C1. É necessário reparar o dano, para evitar sua progressão e possível prejuízo a função do Encontro. Até então, não foram constatadas movimentações, inclinações ou fissuras no encontro.

**Suporte das Tubulações:** O suporte das tubulações está em bom estado, nada a fazer.

- **Classificação de Manutenção e Reparo do Suporte das Tubulações:** Estado I: Bom, classificação A: nada a fazer.

## 5.5 PONTE DO GUARANI

A ponte do Guarani é uma ponte em viga, está localizada em bairro com mesmo nome, possui 57 metros de comprimento e é uma ponte de mão única. A ponte também está localizada sobre o rio Itajaí Mirim, assim como a Arthur Schlosser.



**Figura 44** – Ponte do Guarani

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

A inspeção da ponte é descrita conforme segue.

### 5.5.1 Laje

A laje da ponte está com armadura exposta e corroída, eflorescência, infiltrações e ataque de agentes biológicos.



**Figura 45** – Laje sob a passagem de pedestres da Ponte  
Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).



**Figura 46** – Pontos com eflorescência sobre a laje abaixo da pista  
Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Em alguns pontos o agregado está totalmente visível, exibindo o baixo cobrimento da ponte.



**Figura 47** – Agregados expostos, baixo cobrimento, corrosão e infiltrações na ponte

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Devido à alta umidade do ambiente e da água que escorre, tanto pelas laterais como pela insuficiência do sistema de drenagem, agentes biológicos se instalaram na ponte, favorecendo a deterioração do concreto.



**Figura 48** – Laje com infiltração e ataque de agentes biológicos  
Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Em alguns locais o concreto da laje está se deslocando, conforme figura a seguir



**Figura 49** – Deslocamento do concreto da laje  
Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Um possível resquício da má execução também é observado na laje; algumas partes estão deformadas, provavelmente devido à deformação das fôrmas no processo de concretagem.



**Figura 50** – Deformação na laje

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

A situação da laje está em estado ruim, com diversas manifestações patológicas e anomalias que apontam para, além da falta de manutenção, um processo construtivo inadequado.

### 5.5.2 Longarinas e Transversinas

As longarinas e transversinas estão com diversos nichos de concretagem e armadura exposta e corroída em alguns pontos.



**Figura 51** – Longarina com nichos de concretagem

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).



**Figura 52** – Transversina e longarina com armadura exposta e corroída

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Alguns pontos estão com nichos de concretagem severos, onde é possível enxergar através do elemento.



**Figura 53** – Nicho de concretagem severo em transversina

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Devido a infiltrações e ineficiência do sistema de drenagem, agentes biológicos se proliferaram na longarina. Como pode ser observado na foto a seguir, em destaque, a tubulação de drenagem não se alonga além da largura da laje, fazendo com que a água escorra pela estrutura ao invés de fluir livremente.





**Figura 54** – Agentes biológicos que se proliferaram na longarina, e em destaque drenos da ponte

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

### 5.5.3 Acessos

Os acessos da ponte estão em bom estado, sem necessidade de reparos. Apresentam apenas fissuras pequenas (menores que 1,6 mm).



**Figura 55** – Acesso da ponte  
Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

#### 5.5.4 Proteção do Talude

A ponte não possui encontros, e os aterros estão desprotegidos. No aterro da saída da ponte, o material é arenoso, ficando suscetível a erosão, especialmente em épocas de cheias.



**Figura 56** – Talude da ponte

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Ao andar no talude, a baixa resistência do solo é perceptível, apresentando deslizamentos.

#### 5.5.5 Pavimento

O pavimento está com buracos, áreas remendadas e já degradadas e algumas fissuras com acúmulo de água.



**Figura 57** – Pavimento da ponte com anomalias

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Na área remendada observa-se a desagregação da camada de desgaste do tipo Pelada, resultando do desprendimento da camada de desgaste de um pavimento, que pode ser provocada por má aderência com a camada inferior, insuficiente espessura e instabilidade da camada de desgaste (MAIA, 2012). No caso em questão, por se tratar de um remendo, a nova camada pode não ter ficado aderida adequadamente a camada antiga. A causa dos problemas do pavimento precisa ser devidamente tratada, caso contrário, a inserção de uma nova camada vai apenas remediar o problema, com a “migração” dessas patologias para a nova camada com o tempo.



**Figura 58** – Buraco severo na ponte

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Um outro defeito que merece destaque se encontra próximo a saída da ponte. Um buraco que, no ponto mais crítico, chega a medir aproximadamente 5 centímetros de profundidade (figura acima). Além da degradação do pavimento, esse buraco pode até mesmo causar acidentes envolvendo motociclistas, devido as suas dimensões.

#### 5.5.6 Peitoril

O peitoril está com fissuras indicativas de corrosão de armaduras em alguns pontos. Salvo essas fissuras, não apresenta armadura exposta ou outros problemas.



**Figura 59 – Fissuras no peitoril da ponte**

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

#### 5.5.7 Pilares

Os pilares estão íntegros, sem nichos de concretagem ou armaduras expostas.



**Figura 60** – Pilar da ponte Guarani

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Até onde se pode observar e medir, nos quatro pilares não existem fissuras que merecem destaque (apenas capilares).

#### 5.5.8 Infraestrutura

Por mera análise visual não é possível determinar a condição final da infraestrutura da ponte, pois essa avaliação requer uma inspeção submersa. Visto que na cidade de Brusque não existe um programa de inspeção de pontes, a primeira inspeção rotineira dessas pontes seria classificada como cadastral, e requereria uma investigação aprofundada; porém, visualmente alguns problemas foram encontrados. A infraestrutura é composta por quatro blocos de concreto com cinco estacas mistas em cada um. Mesmo com um nível normal da água, as estacas ficam demasiadamente expostas, pois ocorreu um intenso processo erosivo no rio.



**Figura 61** – Bloco de estacas da ponte Guarani; em destaque, esqueleto metálico da estaca exposto  
Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

As estacas são originalmente metálicas, mas devido ao baixo nível do rio, em 2012 essas estacas foram envelopadas em concreto, na tentativa de proteger contra a corrosão e deterioração. A parte metálica que compõe a estaca está exposta, vide destaque da figura acima e detalhe a seguir. De 2012 até hoje, o nível normal do rio diminuiu ainda mais, pois na época apenas o segmento envelopado em concreto era visível.



**Figura 62** – Esqueleto metálico da estaca exposto  
Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Parte do elemento metálico submersa e a outra parte exposta, é uma situação crítica e favorável para a deterioração. Já em um dos blocos de concreto, existe nicho de concretagem, com crescimento de vegetação.



**Figura 63** – Bloco de fundação com nicho de concretagem e crescimento de vegetação

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

#### 5.5.9 Calçadas

As calçadas são formadas por placas de concreto e apresentam irregularidades, quebras e crescimento de vegetações. A calçada não é íntegra, faltando placas próximo as cabeceiras, e com isso expondo tubulação de PVC que passa pela ponte através do interior da calçada (em destaque na figura abaixo).

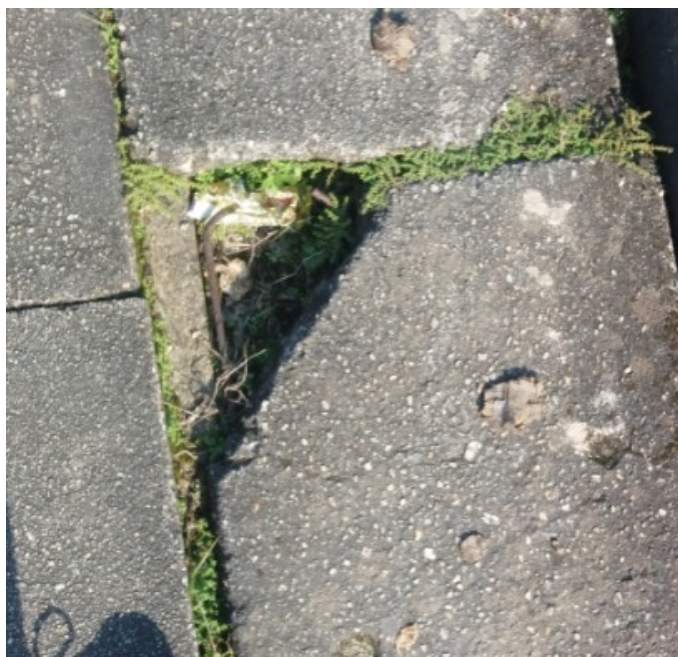




**Figura 64** – Anormalidades na calçada da ponte

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Além de dificultar a acessibilidade de pedestres e deixar parte da tubulação exposta, essas irregularidades e buracos nas calçadas favorecem a entrada da água para a laje, que de fato está mais crítica para infiltrações na parte sob a calçada.



**Figura 65** – Bloco que compõe a calçada com quebras

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

### 5.5.10 Sistema de Drenagem

Conforme já citado na descrição da inspeção da laje e longarinas/transversinas, o sistema de drenagem da ponte é responsável pelo surgimento e/ou piora de algumas manifestações patológicas. Não foram constatados entupimentos nos drenos, porém a tubulação não ultrapassa a espessura da laje, fazendo com que a água escorra pela estrutura.



**Figura 66** – Crescimento de vegetação ao redor da tubulação de drenagem

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

O dreno da figura acima não está entupido, porém seu arredor está com severa infiltração e degradação do concreto, o que propiciou o crescimento de vegetação em torno do seu diâmetro.

### 5.5.11 Apoios

Os apoios da ponte são fixos e de concreto, do tipo Freyssinet, que são articulações fixas e consistem em uma redução da seção da peça a articular (DNIT 091/2006). Se encontram em bom estado.



**Figura 67** – Aparelho de apoio da ponte

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

#### 5.5.12 Outros

A ponte não tem suporte de fixação para as tubulações embutidos nas longarinas ou laje, todos os condutos passam sobre a ponte. As vigas são contínuas, não havendo apoios ou dentes Gerber entre elas, e também não estão presentes na ponte juntas de dilatação.

### **5.6 AVALIAÇÃO DA PONTE DO GUARANI PELO MÉTODO DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DO BRASIL**

A ponte foi avaliada conforme a Arthur Schlosser; uma nota atribuída para a coluna de Danos no Elemento / Insuficiência Estrutural, e outra para a Ação Corretiva, sendo atribuída ao elemento a menor nota dentre essas duas.

**Tabela 36** – Avaliação da ponte do Guarani pelo método DNIT

<b>Elemento</b>	<b>Danos no Elemento / Insuficiência Estrutural</b>	<b>Ação Corretiva</b>	<b>Nota</b>	<b>Classificação das Condições da Ponte</b>
Laje	Armadura exposta e corroída, desprendimento do concreto, cobrimento insuficiente, agentes biológicos, infiltrações / Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo	3/2	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 Intermediárias são recomendáveis para monitorar os problemas.
Longarinas e Transversinas	Nichos de concretagem, cobrimento insuficiente, concreto degradado, armadura exposta e corroída, infiltrações / Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra	A recuperação da obra deve ser feita no curto prazo	3/2	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 Intermediárias são recomendáveis para monitorar os problemas.
Acessos	Não há danos nem insuficiência estrutural	Nada a fazer	5	Obra sem problemas
Proteção do Talude	Talude sem proteção, com material erodível / Há alguns danos mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	A recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática	4/3	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
Pavimento	Fissuras, buracos e degradação / Há alguns danos mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	A recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática	4/3	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

<b>Elemento</b>	<b>Danos no Elemento / Insuficiência Estrutural</b>	<b>Ação Corretiva</b>	<b>Nota</b>	<b>Classificação das Condições da Ponte</b>
Peitoril	Fissuras indicativas de corrosão / Há alguns danos mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	A recuperação da obra deve ser realizada, podendo ser postergada, mas deve-se colocar o problema em observação sistemática	4/3	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
Pilares	Não há danos nem insuficiência estrutural	Nada a fazer	5	Obra sem problemas
Infraestrutura	Estacas expostas, nicho de concretagem e crescimento de vegetação / Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo	3/2	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 Intermediárias são recomendáveis para monitorar os problemas.
Calçadas	Quebras, irregularidades, crescimento de vegetação / Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra	A recuperação da obra deve ser feita no curto prazo	3/2	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 Intermediárias são recomendáveis para monitorar os problemas.
Sistema de Drenagem	Sistema de drenagem ineficiente / Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra	A recuperação da obra deve ser feita no curto prazo	3/2	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 Intermediárias são recomendáveis para monitorar os problemas.
Apoios	Não há danos nem insuficiência estrutural	Nada a fazer	5	Obra sem problemas
<b>Nota Final</b>			<b>2</b>	

A comparação dos métodos de avaliação será discutida no Capítulo 6, porém pela descrição das ações, é visível que o DNIT prioriza a recuperação de elementos que causem insuficiência estrutural. O pavimento, de acordo com essa avaliação, não deve ser reparado em curto prazo. O método não concede muita liberdade de escolha para o inspetor. Considerando as notas acima, para a ponte a nota final é 2, sendo classificada de acordo com a Tabela 3 como Obra Problemática: caso a recuperação seja muito postergada, a ponte pode ficar em um estado crítico, comprometendo sua vida útil.

### 5.7 AVALIAÇÃO DA PONTE DO GUARANI PELO MÉTODO DA *AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO)* – ESTADOS UNIDOS

A avaliação dos elementos genéricos de concreto será feita utilizando a Tabela 12, de orientação quantitativa e a Tabela 11, de ações viáveis, já apresentadas no tópico 5.3.

#### 5.7.1 Avaliação dos Elementos definidos como *National Bridge Elements (NBE)*

- **Laje de concreto:** Este elemento define toda a plataforma / laje da ponte de concreto armado, independentemente da superfície de desgaste ou dos sistemas de proteção utilizados. A avaliação foi feita para o estado de condição de cada defeito, e os resultados são mostrados na tabela a seguir.

**Tabela 37** – Avaliação do elemento laje pelo método AASHTO

	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Fissuras	4 - Severo	Tamanho e/ou densidade severos	Reabilitar (tratar a corrosão antes de recuperar fissuras)
Desplacamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	4 - Severo	Desplacamento severo, armadura exposta e corroída, infiltração e ataque de agentes biológicos	Reabilitar
Eflorescência	2 - Razoável	Eflorescências pontuais	Recuperar
Capacidade de Carga	1 - Bom	Não há redução	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

- **Longarinas e Transversinas:** As tabelas para avaliação das Longarinas e Transversinas são as mesmas, e por apresentarem a mesma avaliação para os defeitos, resultou no agrupamento exibido a seguir.

**Tabela 38** – Avaliação das longarinas e transversinas pelo método AASHTO

Defeito	Estado de Condição	Descrição	Ações Viáveis
Fissuras	4 - Severo	A condição está além dos limites estabelecido no estado de condição 3, e justifica uma revisão estrutural para determinar a resistência ou manutenção do elemento/ ponte.	Reabilitar (Tratar corrosão e infiltrações antes de recuperar)
Desplacamentos / Desagregações / Áreas remendadas	4 - Severo	A condição está além dos limites estabelecido no estado de condição 3, e justifica uma revisão estrutural para determinar a resistência ou manutenção do elemento/ ponte.	Reabilitar
Eflorescência	1 - Bom	Não há eflorescência	Nada a fazer
Capacidade de Carga	1 - Bom	Não há redução aparente; após revisão estrutural comentada para Fissuras e Desplacamentos / Desagregações, resultado pode ser alterado	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

A descrição das fissuras e outros problemas nas longarinas e transversinas foi feita na inspeção; esses elementos estão, claramente, acima dos níveis aceitáveis e necessitando de uma reabilitação (tratar a causa dos danos), e não apenas recuperação.

- **Pilares:** Os pilares estão em bom estado para os quatro defeitos prescritos, não tendo nenhuma outra anormalidade e não necessitam de reabilitações ou recuperações.
- **Encontros:** A ponte não possui encontros, e os taludes estão sem proteção. Não há um elemento “Talude” com danos prescritos pelo método AASHTO, porém o manual frisa que o inspetor tem a liberdade de criar novos elementos. Neste caso:

**Tabela 39** – Avaliação dos Taludes pelo método AASHTO

Defeito	Estado de Condição	Descrição	Ações Viáveis
Taludes sem proteção	4 - Severo	Taludes desprotegidos e com material erodível, ficando suscetíveis a serem carregados em épocas de cheias	Reabilitar; proteger os taludes ou construir encontros

Fonte: AASHTO (2010).

- **Bloco de Fundação:** Este elemento define os blocos de concreto armado que são normalmente submersos na água e visíveis para inspeção. Os blocos expostos por erosão ou que fazem parte da inspeção do mergulhador são incluídos neste elemento (*Brige Element Inspection Guide Manual, 2010*). Os blocos da ponte Guarani estão expostos devido a erosão do leito do rio nos últimos anos, conforme verificado na inspeção.

**Tabela 40** – Avaliação dos blocos de fundação pelo método AASHTO

Defeito	Estado de Condição	Descrição	Ações Viáveis
Fissuras	2 - Razoável	Fissuras moderadas	Nada a fazer por enquanto, acompanhar possível evolução
Desplacamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	3 - Pobre	Nicho de Concretagem com crescimento de vegetação	Recuperar
Eflorescência	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Capacidade de Carga	1 - Bom	Não há	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

- **Estacas:** No elemento de avaliação das estacas estão incluídas as estacas inspecionadas por mergulhador ou expostas devido à erosão (adaptado de *Brige Element Inspection Guide Manual, 2010*). Para avaliar corretamente as estacas, nesse caso seria indispensável uma inspeção submersa, para verificar o perfil do leito do rio e capturar situações não visíveis da infraestrutura. Visualmente, não foram verificados indícios de recalques.



**Tabela 41** – Avaliação das estacas pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Fissuras	1 - Bom	Sem fissuramento	Nada a fazer
Erosão do Leito do Rio	3 - Pobre	Existe erosão no leito do rio;a estrutura aparenta estar estável, inspeção submersas e medidas corretivas são necessárias	Reabilitar
Recalque	Avaliar após inspeção submersa	-	Inspeção submersa e revisão estrutural
Deslocamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Eflorescência	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Capacidade de Carga	Avaliar após inspeção submersa	-	Inspeção submersa e revisão estrutural

Fonte: AASHTO (2010).

Como a estaca é metálica mas foi revestida de concreto, as tabelas dos dois materiais devem ser avaliadas após inspeção submersa, porém apenas com a fração da parte metálica visível não é possível categorizar as manifestações patológicas presentes.

- **Apoios:** Os apoios de concreto estão em bom estado, sem necessidade de reparos.

**Tabela 42** – Avaliação dos apoios pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Alinhamento	1 - Bom	Bom alinhamento	Nada a fazer
Condição	1 - Bom	Sem deterioração	Nada a fazer
Capacidade	1 - Bom	Não há redução	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

- **Peitoril:** Conforme verificado na inspeção, o peitoril apresenta fissuras indicativas de corrosão.

**Tabela 43** – Avaliação do peitoril pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Fissuras	3 - Pobre	Fissuras Médias	Reabilitar (tratar corrosão: causa das fissuras)
Desplacamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Eflorescência	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Capacidade de Carga	1 - Bom	Não há	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

#### 5.7.1 Avaliação dos Elementos definidos como *Bridge Management Elements* (BME)

Alguns elementos BME's não estão presentes na ponte do Guarani; a ponte não possui juntas de dilatação ou sistemas de proteção (como revestimentos, impermeabilizantes ou barreiras que protegem o concreto). Os elementos aplicáveis estão avaliados conforme segue.

- **Acessos:** Conforme verificado na inspeção dos acessos, eles estão em bom estado e não há nada a ser feito para fins de reparo.

**Tabela 44** – Avaliação dos acessos pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Fissuras	1 - Bom	Apenas fissuras pequenas	Nada a fazer
Desplacamentos/ Desagregações / Áreas remendadas	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Eflorescência	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Recalque	1 - Bom	Não há	Nada a fazer
Capacidade de Carga	1 - Bom	Não há	Nada a fazer

Fonte: AASHTO (2010).

- **Pavimento:** O pavimento está com fissuras severas (de acordo com a Tabela 23), ultrapassando 2 mm. Buracos profundos e patologias na área remendada.

**Tabela 45** – Avaliação do pavimento pelo método AASHTO

<b>Defeito</b>	<b>Estado de Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ações Viáveis</b>
Desplacamentos/ Desagregações / Áreas remendadas / Buracos	4 - Severo	Buracos profundos, área remendada com patologia tipo Pelada, ultrapassando limites aceitáveis	Reabilitar
Fissuras	3 - Pobre	Fissuras severas	Recuperar
Eficácia	3 - Pobre	Condição ruim, eficácia limitada	Recuperar e Reabilitar defeitos para proporcionar segurança aos usuários e maior vida útil ao pavimento

Fonte: AASHTO (2010).

- **Fatores Ambientais:** De acordo com a Tabela 25 e considerando o histórico de cheias da cidade, a classificação adotada para a ponte foi 4 – Severo. Além da erosão no leito do rio, os taludes também são erodidos com o aumento do nível e velocidade da água; algumas proteções como pedras argamassadas, mantas ou blocos poderiam ser aplicadas para a preservação desses taludes. Sistemas de proteção ausentes justificam essa classificação.

O manual da AASHTO não define elementos de drenagem como NBE ou BME. Nesse caso fica a cargo das agências a avaliação desse elemento e das suas particularidades. Como na ponte do Guarani o sistema de drenagem e calçadas não estão em bom estado, essas informações da inspeção devem constar no relatório de avaliação, para justificar a atribuição da classificação 4 -Severo para ambos os casos.

### 5.7.2 Avaliação da Ponte Guarani pelo Método do *Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT)* – Japão

Os elementos são avaliados inicialmente de acordo com os danos prescritos na Tabela 28.

#### Superestrutura

- **Vigas:** A ponte possui longarinas e transversinas que estão no mesmo estado, por isso não serão separadas em segmentos. Na prática, para registrar os dados e montar matrizes de probabilidade, seria necessário separar em segmentos, mesmo que os elementos estejam em estados semelhantes de condição. As anomalias verificadas são:
  - 6 – Fissuras
  - 7 - Desagregação, Armadura Exposta
  - 20 - Vazamentos, Infiltração

**Tabela 46** – Avaliação das vigas da ponte pelo método MLIT

<b>Dano</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Orientação Quantitativa</b>
6 -Fissuração	e	A largura e densidade das fissuras são grandes	<b>Largura das fissuras:</b> estrutura de concreto armado: de 0,3 mm ou mais, considerado grande <b>Densidade das Fissuras:</b> O intervalo mínimo de fissuração é inferior à 0.5 m, considerado grande
7 - Desagregação, Armadura Exposta	e	Classificação para quando o vergalhão é exposto e as barras estão corroídas ou quebradas	Não há
20 - Vazamentos, Infiltração	e	Para infiltração de água ou vazamentos, o MLIT não define categorias intermediárias. Se não há esse dano, é "a"; se houver, é automaticamente "e"	Não há

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparos das Vigas:** As vigas estão em Estado IV: Fase de medidas de emergência (conforme Tabela 5), se enquadrando na classificação E1, pois do ponto de vista da segurança estrutural, é necessário a análise e atendimento aos danos. Mesmo não apresentando visuais deformações, as armaduras estão demasiadamente expostas e corroídas, os nichos de concretagem estão severos, não havendo garantias de que na próxima cheia a ponte ficará estável. Para fins econômicos, também é preciso um reparo imediato, pois quanto mais se alongar mais oneroso será.
- **Laje:** Conforme verificado na inspeção, a laje está com severas infiltrações, eflorescência, deslocamento, fissuras devido a corrosão, armaduras expostas e corroídas.
  - 7 – Des agregação, Armadura Exposta
  - 20 – Vazamentos, Infiltração
  - 6 – Fissuração
  - 8 – Eflorescência, Cal Livre

**Tabela 47** – Avaliação da laje da ponte pelo método MLIT

<b>Dano</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Orientação Quantitativa</b>
7 - Desagregação, Armadura Exposta	e	Classificação para quando o vergalhão é exposto e as barras estão corroídas ou quebradas. No caso da laje, está com armadura exposta e oxidada	Não há
20 - Vazamentos, Infiltração	e	Para infiltração de água ou vazamentos, o MLIT não define categorias intermediárias. Se não há esse dano, é "a"; se houver, é automaticamente "e"	Não há
6 -Fissuração	e	A largura e densidade das fissuras são grandes	<b>Largura das fissuras:</b> estrutura de concreto armado: de 0,3 mm ou mais, considerado grande <b>Densidade das Fissuras:</b> O intervalo mínimo de fissuração é inferior à 0.5 m, considerado grande

<b>Dano</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Orientação Quantitativa</b>
8 - Eflorescência, Cal Livre	d	Cal livre é observada nas fissuras, mas não há formação de pingentes, ou sumos de ferrugem	Não há

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparos da Laje:** A laje está no Estado IV: Fase de medidas de emergência (de acordo com a Tabela 5), pois há possibilidade alta de haver um problema com a função da laje. Sua classificação é E1; do ponto de vista da segurança estrutural é necessário tomar atitudes.

As longarinas da ponte são contínuas, não havendo apoios entre as vigas ou dentes Gerber para avaliar.

#### Subestrutura

- **Pilares:** Conforme citado na inspeção da ponte, os pilares estão em bom estado, e não foram constatadas fissuras relevantes nesses elementos. Sendo assim, eles não se enquadram nos danos prescritos. Seu Estado é 1 (Bom), e sua classificação de manutenção e reparo é A: nenhum dano encontrado, apenas fissuras pequenas (capilares) que não necessitam de reparos.
- **Fundação:** A fundação está com um nicho de concretagem com pequena desagregação e crescimento de vegetação em um dos blocos de concreto, e sofrendo um processo erosivo. Se enquadra no defeito 7, por ter uma pequena desagregação. O MLIT não prescreve nenhum defeito do tipo “Nicho de Concretagem”, nesse caso o problema é comentado na classificação de M&R.
  - 7 – Desagregação, Armadura Exposta
  - 26 – Erosão
  - 20 – Vazamentos, Infiltração (infiltração no nicho, que favoreceu o crescimento da vegetação)

**Tabela 48** – Avaliação da fundação da ponte pelo método MLIT

<b>Dano</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Orientação Quantitativa</b>
7 - Desagregação, Armadura Exposta	c	Classificação para quando existe uma desagregação média, sem armaduras expostas	Não há
26 - Erosão	e	A fundação é notavelmente erodida devido à água corrente.	Não há
20 - Vazamentos, Infiltração	e	Para infiltração de água ou vazamentos, o MLIT não define categorias intermediárias. Se não há esse dano, é "a"; se houver, é automaticamente "e"	Não há

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparos da Fundação:** A fundação está no Estado IV: Fase de medidas de emergência (de acordo com a Tabela 5), pois há possibilidade alta de haver um problema com a função dessa fundação em épocas de cheia. Sua classificação é E1; do ponto de vista da segurança estrutural é necessário tomar atitudes quanto a erosão. A recuperação do nicho e da infiltração pode ser encarada como II: Estado de manutenção preventiva, para evitar problemas futuros.

**Apoios:** Conforme verificado na inspeção, os apoios estão em bom estado.

- **Classificação de Manutenção e Reparos dos Apoios:** Estado I: Bom estado, classificação “A” para M&R, pois não foram encontrados danos.

**Peitoril:** O peitoril está com fissuração indicativa de corrosão

- 6 – Fissuração

**Tabela 49** – Avaliação do peitoril da ponte pelo método MLIT

Dano	Classificação	Descrição	Orientação Quantitativa
6 -Fissuração	e	A largura da fissura é grande e a densidade também	<b>Largura das fissuras:</b> estrutura de concreto armado: de 0,3 mm ou mais, considerado grande <b>Densidade das Fissuras:</b> O intervalo mínimo de fissuração é inferior à 0.5 m, considerado grande

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparos do Peitoril:** O peitoril está no Estado II: Fase de medição preventiva; classificado como C1, é necessário realizar o reparo e outras verificações, pois o dano progrediu. Por exemplo, devem ser removidos pontos de corrosão e suas causas (MLIT, 2004). No caso do peitoril, a corrosão deve ser tratada na extensão em que estiver propagada, e as fissuras reparadas.

**Meio-fio e Calçada:** O meio-fio está em bom estado, já a calçada apresenta irregularidades, desagregação com crescimento de vegetação e deficiências, como a ausência de algumas placas que a compõem.

- 7 – Desagregação, Armadura Exposta
- 23 – Deformação, Deficiência

**Tabela 50** – Avaliação do meio-fio e calçada da ponte pelo método MLIT

Dano	Classificação	Descrição	Orientação Quantitativa
7 - Desagregação, Armadura Exposta	d	Desagregação média das placas de concreto	Não há
23 - Deformação, Deficiência	e	Membro com partes ausentes	Não há

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparos do Meio-fio e Calçada:** A calçada é classificada como E1 e E2, requerendo ações emergenciais. A preocupação com



o dano E2 na M&R é com os usuários; assim como na Arthur Schlosser, a ponte do Guarani não tem ciclovias, e nas condições em que está a calçada, a acessibilidade é nula. Já para E1, onde a segurança estrutural pode ser prejudicada, seria devido as quebras e irregularidades da calçada, permitindo a infiltração de água para a laje sob a calçada. A recomendação é que a calçada seja refeita, e nesse processo seja avaliada a condição das tubulações que passam por meio dela, cruzando a ponte.

**Pavimento:** O pavimento tem fissuras, buracos e áreas remendadas com patologia asfáltica (Pelada).

- 14 – Irregularidade da Superfície da Estrada: Nesses elementos estão inclusos os buracos
- 15 – Anormalidade do Pavimento

**Tabela 51** – Avaliação do pavimento da ponte pelo método MLIT

<b>Dano</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Orientação Quantitativa</b>
15 - Anormalidade do Pavimento	e	Largura das fissuras da ponte são grandes	5mm. ou mais
14 - Irregularidade da Superfície da Estrada	e	Desnível grande entre o eixo da estrada e as anomalias (buracos)	20 mm. ou mais

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparos do Pavimento:** A classificação de manutenção e reparo do pavimento é S1; existe uma necessidade de investigação detalhada, para tratar a causa do dano; os buracos provavelmente se originaram dos conjuntos das fissuras localizadas, que foram observadas em alguns locais da ponte e na área remendada. Deve ser avaliado o estado do pavimento que está inserido, para tratar devidamente as fissuras existentes antes de inserir uma nova camada asfáltica. O estado é IV: Emergencial; isso deve ser feito o quanto antes para poder cobrir devidamente os buracos existentes, prezando pela segurança dos usuários.

**Drenagem:** Drenagem ineficiente, está gerando infiltrações na superestrutura da ponte. Também há crescimento de vegetação ao redor dos tubos, apesar de não haver entupimento neles.

- 20 – Vazamentos, Infiltração
- 24 – Entupimento Drenagem, Crescimento de Vegetação

**Tabela 52** – Avaliação da drenagem da ponte pelo método MLIT

Dano	Classificação	Descrição	Orientação Quantitativa
20 - Vazamentos, Infiltração	e	Para infiltração de água ou vazamentos, o MLIT não define categorias intermediárias. Se não há esse dano, é "a"; se houver, é automaticamente "e"	Não há
24- Entupimento Drenagem, Crescimento de Vegetação	e	Para esse dano, só existem 2 classificações; a ou e. Se o dano existe, é automaticamente e	Não há

Fonte: MLIT (2004).

- **Classificação de Manutenção e Reparos da Drenagem:** O estado de condição é IV, Emergencial. A classificação de M&R é E1, pois o sistema de drenagem problemático está causando danos aos elementos da superestrutura da ponte e amplificando os danos já existentes por outros motivos, corroendo armaduras, carreando componentes do cobrimento (que já é pequeno) e degradando o concreto com a excessiva umidade que acumula na superfície.

**Proteção dos Taludes:** O elemento Encontros/ Contenção dos Taludes prescrito pelo MLIT considera que esses elementos estejam executados em concreto ou outros materiais. No caso, como não existem encontros na ponte e os taludes estão desprotegidos, valem as recomendações de proteção comentadas na avaliação pelo método AASHTO; algumas proteções como pedras argamassadas, mantas ou blocos poderiam ser aplicadas para a preservação desses taludes. A classificação de M&R da proteção dos taludes é C2: Do ponto de vista da estabilidade e segurança estrutural, é necessário realizar o reparo e outras verificações,

pois o dano está progredindo consideravelmente e é relevante para a função e segurança da ponte.

**Suporte das Tubulações:** Não há suportes de tubulações embutidos na superestrutura da ponte. As tubulações passam pelo estrado da ponte ou pelo meio da calçada (onde não é possível inspecionar seu estado de condição).

## 6 COMPARAÇÃO E DISCUSSÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PONTES APLICADOS AO ESTUDO DE CASO

O método brasileiro é o mais subjetivo dos três; tanto o método americano quanto o japonês fornecem orientações quantitativas e danos prescritos para auxiliar na classificação da ponte. A metodologia utilizada pela AASHTO, de inspeção a nível de elemento facilita a inspeção, pois em campo fica mais objetivo o procedimento, sem ficar a critério do inspetor como fazer a divisão dos elementos.

A tabela avaliativa fornecida pelo DNIT é tolerável quanto aos danos; por exemplo, para a nota 4, pela coluna de Dano no Elemento/ Insuficiência Estrutural, define “Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural” e como ação corretiva, “Nada a fazer; apenas serviços de manutenção”. A ideia de definir uma ação corretiva para cada nota não é interessante, pois há alguns danos onde algo precisa ser feito, mesmo que não estejam gerando insuficiência estrutural na ponte; nessa questão o método da AASHTO se mostrou superior, pois para cada nota recomenda mais de uma ação viável, o que ajuda o inspetor na tomada de decisão. No presente trabalho, a avaliação foi feita considerando as colunas de “Dano no Elemento/ Insuficiência Estrutural” e “Ação Corretiva” independentemente, atribuindo uma nota para cada uma e escolhendo a menor dentre elas para o elemento; porém essa foi uma interpretação do método, prezando pela qualidade e segurança das avaliações. O método brasileiro não pode contar com essa interpretação por parte dos inspetores, não pode deixar lacunas onde o bom senso precise ser utilizado. Já o método do MLIT não define ações corretivas com base em notas, mas fornece uma boa descrição das classificações de manutenção e reparo, deixando a cargo de um inspetor mais experiente essa tomada de decisão.

Outra descrição de ação corretiva utilizada pelo DNIT que não se mostrou clara é referente a nota 3, com a descrição de dano “Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra”, sendo a ação viável “A recuperação da obra pode ser postergada, devendo-se, porém, neste caso, colocar-se o problema em observação sistemática”; segundo a descrição do manual, caso não seja reparado, a evolução do problema deve ser acompanhada pelas inspeções rotineiras; primeiramente, nas inspeções rotineiras a evolução de todo e qualquer dano deve ser acompanhada; e, ou o dano é reparado ou aguarda até a próxima inspeção são duas ações muito distintas para uma mesma nota. O método AASHTO não define nenhuma ação que pode esperar; ou precisa recuperar ou não precisa. Já o método MLIT, até cita ações viáveis que podem aguardar até a próxima inspeção,

porém não para danos que estejam causando alguma insuficiência estrutural; ao descrever que existe a possibilidade de afetar a função da ponte, o método japonês já define uma tomada de ação para o “quanto antes”. Nesse quesito, o método americano é mais eficiente, pois, conforme a pesquisa conduzida por Shirato (2016), alguns segmentos que tinham classificação “a”, evoluíram para “e” (pior classificação possível) no intervalo das inspeções. Julgar que um dano pode esperar até a próxima inspeção, baseado em avaliações subjetivas e, muitas vezes, apenas visuais, envolve certo risco. São muitas as variáveis que podem mudar até a próxima inspeção, se é que esta inspeção vai acontecer no intervalo de tempo determinado (a falta de orçamento, principalmente no Brasil, pode afetar o intervalo dessas inspeções).

Pela descrição dos danos do DNIT, fica visível a priorização da função estrutural no julgamento da nota da ponte. Este é, claramente, um ponto importante a ser levado em conta, mas não o único. Por exemplo, na ponte do Guarani, o pavimento tem buracos profundos, que podem causar acidentes; não foram encontradas fontes oficiais citando a causa dos acidentes envolvendo motociclistas, mas o número de acidentes envolvendo esse meio de transporte é recorrente nessa ponte. Pela tabela do DNIT, se não causa insuficiência estrutural, não há nada a fazer além de manutenção, e a obra é considerada sem problemas importantes; generalizar a ação corretiva não é apropriado, o método brasileiro deveria conceder mais flexibilidade para essa ação.

A avaliação a nível de elemento utilizada pelos Estados Unidos torna mais fácil a comparação do resultado da inspeção com inspeções anteriores, porque apresenta as tabelas de avaliação pré-definidas por elementos; essa padronização facilita o gerenciamento de dados. Ainda no quesito de gerenciamento de dados, a metodologia utilizada pelo Japão também é interessante; dividir um elemento em segmentos, atribuindo uma classificação para o segmento e gerenciar essa degradação localizada para construção de modelos probabilísticos aumenta a eficiência da distribuição de recursos e planejamentos.

O método do MLIT tem um julgamento misto, considerando avaliações objetivas e subjetivas; isso se mostra interessante para cobrir as generalizações geradas pela padronização da orientação objetiva. Por exemplo, avaliando o pilar da Figura 38, que tem um nicho de concretagem localizado e armadura exposta com pintura efetuada por cima, a classificação do segmento seria “d”, pois existe a armadura exposta (porém não corroída). Avaliando apenas a longarina da Figura 31 (na avaliação do trabalho as longarinas e transversinas foram avaliadas em um mesmo elemento), onde existe armadura demasiadamente exposta devido a colisão, a classificação também é “d” pois essa armadura ainda não está oxidada, mas essa exposição de

armadura é mais crítica do que a exposição do pilar. Nesse caso, entra a classificação de manutenção e reparo, para refinar subjetivamente os resultados, peneirando as prioridades.

Ter danos prescritos se mostrou vantajoso na maior parte das avaliações, porém no caso do dano Nicho de Concretagem, como não estava prescrito pelo MLIT ou AASHTO, foi optado por utilizar um dano prescrito existente. Vale ressaltar que novos danos podem ser criados, esses manuais fornecem liberdade para tal, porém, nicho de concretagem não é decorrente do uso ou uma manifestação patológica, mas sim um vício construtivo, que com o tempo pode ficar mais crítico, permitindo a entrada de agentes que causam a deterioração do concreto e armadura. Partindo dessa definição, optou-se por não criar esse novo defeito, mas tratar ele como um dano tabelado, pois este dano prescrito já fornece orientações de classificação de severidade com base na exposição da armadura, e para fins de avaliação do grau de severidade essa adaptação foi suficiente.

## 7 SUGESTÕES PARA O MÉTODO DNIT

As sugestões descritas a seguir são melhorias que podem ser adotadas pelo método DNIT, e estão atreladas à trabalhos futuros, para aprofundamentos dessas diretrizes com base na situação brasileira antes da implementação.

- Criar um sistema de inspeção e avaliação a nível de elemento;
- Fornecer uma orientação quantitativa e danos prescritos para a classificação dos elementos, porém não definir a ação viável apenas com base nessas orientações, tal como o método do MLIT;
- Flexibilizar as ações corretivas; não definir apenas uma ação para cada nota, pois como discutido no capítulo anterior, não é apenas a insuficiência estrutural que deve ser emergencial (vide caso do pavimento na ponte do Guarani);
- Considerar o fator econômico, além da segurança estrutural, na avaliação dos danos; por exemplo, trocar uma junta de dilatação é comumente mais caro do que recuperar uma viga ou pilar (*NEW JERSEY DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2014*), então é interessante dar um peso para as avaliações nesse elemento, para preservar sua durabilidade antes de precisar remediar. Visto que no Brasil o orçamento disponibilizado para esses reparos é baixo (perante a demanda), um sistema de pesos considerando o fator de custo da troca otimizaria esse orçamento;
- Ponderar a severidade ambiental na avaliação da ponte e se ações são tomadas para amenizar esses fatores intempéricos, assim como no método AASHTO. As pontes estão inseridas em regiões com diferentes particularidades; no caso de Brusque, existem as cheias, em outros locais do Brasil podem ser considerados os períodos de estiagem, por exemplo, onde parte da infraestrutura pode ficar muito exposta;
- Elaborar modelos probabilísticos com base nos dados coletados, para um melhor gerenciamento desses dados e planejamento.

Vale destacar que a melhoria sugerida de não considerar apenas o fator estrutural na avaliação da ponte e não definir ações corretivas fixadas por notas, já estão contempladas pela norma NBR 9452 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento (ABNT, 2016). As demais sugestões podem servir de base para incorporações e revisões das normas vigentes.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pela realização desse trabalho pode-se perceber que a utilização da avaliação a nível de elemento confere resultados mais precisos da condição final da ponte, pois descreve mais detalhadamente os componentes. A necessidade da revisão do método de avaliação das pontes estadunidenses surgiu com a constatação de que avaliar todo um componente com base em apenas uma nota, acaba mascarando outros problemas da estrutura e se mostra insuficiente para gerenciamento de recursos. Aplicando o método de avaliação de pontes brasileiro, também é perceptível que a avaliação é genérica, e que elementos prescritos que constituem um componente seriam mais efetivos na inspeção e avaliação.

No método brasileiro, o fator insuficiência estrutural ser o único considerado na classificação no grau de severidade do dano, é ultrapassado. Existem outros fatores que podem causar riscos aos usuários, como um pavimento ou suporte das tubulações em estado crítico, ou até mesmo um desnível excessivo na entrada das calçadas. Nesse ponto, o método MLIT tem uma abordagem interessante, apresentando duas classificações emergenciais; uma referente aos riscos estruturais (E1) e a outra em relação ao risco no qual os usuários são expostos (E2). Além da inquestionável segurança que as obras de arte devem ter, a consideração do fator econômico na ponderação da classificação também seria vantajosa, pois, conforme comentado no Capítulo 7, Sugestões para o Método DNIT, trocar uma junta de dilatação é comumente mais caro do que recuperar uma viga ou pilar; o fator “custo de troca” poderia ser considerado, visando preservar a durabilidade de elementos mais significativos financeiramente.

Ao efetuar o Estudo de Caso, foi verificado que é imprescindível a implementação de programas a nível estadual e municipal para a inspeção e avaliação de pontes; no caso de Brusque, se após as cheias fosse efetuada uma inspeção extraordinária submersa, existem grandes chances do problema de descalço na fundação ter sido detectado antes de desestabilizar completamente o pilar. O processo erosivo no leito do rio é gradual, e como as fundações não foram inspecionadas após as recorrentes enchentes, é provável que não tenha sido uma falha por causas iminentes, mas sim um processo que vinha ocorrendo há algum tempo, culminando no descalço e movimentação do pilar. Inspeções rotineiras também teriam evitado a progressão de muitos problemas e gerado economia, pois o reparo destes inevitavelmente será mais dispendioso.

Na aplicação dos métodos, o MLIT e o AASHTO foram mais trabalhosos, porém mais funcionais do que o método DNIT, avaliando mais precisa e aprofundadamente os danos das pontes, diminuindo a estatísticas de uma avaliação puramente subjetiva com o auxílio de



orientações quantitativas para danos prescritos. O método DNIT é mais simplista, pode gerar resultados mais variados de avaliação, dependendo da interpretação do inspetor; esse método deveria ser complementado com danos e componentes prescritos, tabelas orientativas objetivas e sem fixar uma ação corretiva para cada nota, permitindo mais flexibilidade ao avaliador. Foi verificado também que orientações quantitativas auxiliam na avaliação, mas que a classificação não pode se ater apenas à essas orientações; existe a necessidade de uma avaliação subjetiva complementar, pois é impraticável tabelar todas as possíveis condições de contorno de um problema. Gerenciar os dados obtidos nas inspeções e avaliações das pontes também aumentaria a eficiência do sistema brasileiro, possibilitando a elaboração de modelos estatísticos com previsão de custos e degradação das obras, proporcionando um melhor planejamento para a manutenção das pontes.

A situação de condição das pontes ficou melhor descrita com o método da AASHTO, por considerar mais elementos para a análise, e a necessidade da urgência de reparos nessas pontes foi melhor definida com o método do MLIT, pela flexibilidade e maior orientações para a classificação de severidade.

Aplicando diferentes métodos de avaliação de pontes ao estudo de caso, foi possível observar as deficiências que o método brasileiro ainda possui. Porém, não são essas as principais causas do estado de condição em que as obras de arte do Brasil se encontram. Não há um registro acessível das avaliações, e tragédias envolvendo pontes e viadutos na malha federal apontam para um problema muito maior; as inspeções e avaliações não são efetuadas em algumas estruturas.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO. **Manual for Bridge Element Inspection**, 2016.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO. **Bridge Element Inspection Guide Manual**, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 1996.

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

AZEVEDO NETTO, et al. **Manual de Hidráulica**. São Paulo: Editora Blucher, 2001.

AZEVEDO, Netto et al. - **Manual de Hidráulica**. São Paulo: Blucher, 2001.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção: Novos Materiais para Construção Civil**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

CÁNOVAS. M. F. **Patologia y terapeutica del hormigón armado**, 1994.

CARDOSO, R. A. F. **Infraescavação em pilares de pontes**. 2008. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) na Universidade de Aveiro, Portugal, 2008.

CINTRA, José Carlos; AOKI, Nelson; HENRIQUE, José. **Fundações Diretas Projeto Geotécnico**, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. Ministério dos Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. **Norma DNIT – 010/2004 – PRO – Inspeção em Pontes e Viadutos de Concreto Armado e Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. Ministério dos Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. **Norma DNIT 091/2006 – ES. Tratamento de aparelhos de apoio: concreto, neoprene e metálicos – Especificação de Serviço.** Rio de Janeiro, 2006.

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. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2004.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION IOWA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Debris Mitigation Methods for Bridge Piers,** 2012.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Evaluating Scour at Bridges - Fifth Edition,** 2012.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Bridge Inspector's Training Manual (BRIM),** 2012.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance,** 2009.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **National Performance Management Measures: Pavement and Bridge Condition to Assess the National Highway Performance Program,** 2017.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Recording and Coding Guide for the Structure Inventory,** 1995.

FERNANDES, R. M. **A influência das ações repetidas na Aderência Açoconcreto.** 2000. São Carlos. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, **Implementation of the 2013 AASHTO Manual for Bridge Element Inspection,** 2016.

GIOVANNETTI, Ana Carolina V. Portela. **Avaliação do Estado de Conservação de Pontes – Estudo de Caso**, 2014. Teste (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis.

GOUVÊA, Marcelo. O MUNICÍPIO. **Pedaços de concreto da ponte Arthur Schlösser caem sobre a avenida Beira Rio**. 2018. Disponível em: <<https://omunicipio.com.br/pedacos-de-concreto-da-ponte-arthur-schlosser-caem-sobre-avenida-beira-rio/>>. Acesso em: 20/05/2018.

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

HELENE, P. R. L. **Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto**. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 1., 1997, São Leopoldo. **Anais...** São Leopoldo: UNISINOS, 1997.

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. Tese (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeroportuária). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

MAIA, Iva M. Cardoso. **Caracterização de Patologias em Pavimentos Rodoviários**, 2012.

MASON, J. **Pontes em concreto armado e protendido**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedade e materiais**, 1994. MLIT (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism). Standards for Highway Bridge Inspections (in Japanese), 2004.

NEW JERSEY DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Bridge Element Inspection Manual**, 2014.

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

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

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

SHIRATO, Masahiro. **Bridge management framework and scientific bridge condition data recording**, 2016.

SHIRATO, Masahiro; TAMAKOSHI, Takashi. **Bridge Inspection STANDARDS IN JAPAN AND US**, 2013.

SHIRATO, Masahiro; TAMAKOSHI, Takashi; KAMADA, Toshiro., **Steel bridge deterioration data in Japan and modelling**, 20013.

SOBANJO, John O; THOMPSON, Paul D. **Implementation of the 2013 AASHTO Manual for Bridge Element Inspection**, 2016.

TÉCHNE, A Revista do Engenheiro Civil. **Projetos – Vazios de concretagem**. Disponível em: <<http://techn17.pini.com.br/engenharia-civil/109/artigo287074-1.aspx>>. Acesso em 20/04/2018.

TENSAR. **Site**. Disponível em: <<http://www.tensar.co.uk/>>. Acesso em: 01/06/2018.

U. S. DEPARTAMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIHWAY ADMINISTRATION. **Bridges & Structures**. Disponível em: <<https://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbi/ascii2017.cfm>>. Acesso em: 10/05/2018.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Fundamentos da Erosão nas Fundações de Pontes e nos Aterros de Acesso**. Disciplina: Reforço e Recuperação de Pontes e Viadutos, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, 2015.

## APÊNDICE A – Interdição da Ponte Arthur Schlosser

Brusque não possui um programa de inspeção e manutenção das pontes, mesmo com o histórico de enchentes recorrentes na cidade. Em agosto de 1980, uma das principais pontes de acesso do Centro colapsou.



**Figura 68** – Queda da ponte em Brusque

Fonte: Érico Zendron (1980).

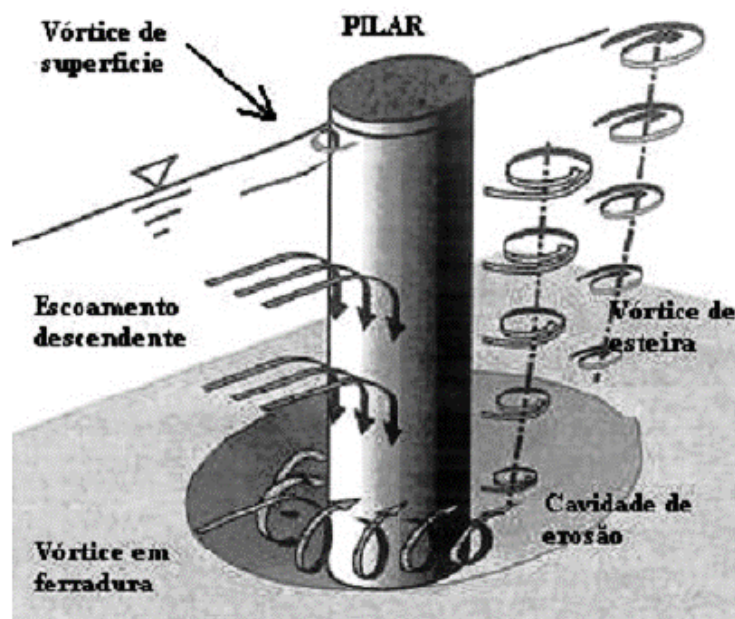
Em junho de 2017 a ponte Arthur Schlosser teve um dos seus pilares desestabilizados durante uma cheia na cidade. A causa foi uma erosão localizada no leito do rio, que descalçou a fundação.



**Figura 69** – Pilar descalçado durante a cheia

Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

Os pilares localizados nos rios constituem obstáculos que modificam os mecanismos de escoamento das águas, aumentando a velocidade, a vorticidade e a turbulência, que geram cavidades (ou fossas) de erosão junto a essas estruturas, podendo causar o solapamento (erosão) das fundações. Isso compromete a estabilidade da estrutura da ponte, em especial das mais antigas, construídas em trechos de rios cujos leitos sofreram mudanças de perfis não detectadas ao longo do tempo pela ausência de inspeções periódicas (VITÓRIO, 2015). Durante um período de inundação a velocidade do fluxo é aumentada, o que causa um escoamento mais intenso na base da estrutura. Alterações no leito do rio também podem ocorrer; pode haver agregação, que é o acúmulo geral e progressivo do perfil longitudinal de um leito de canal devido à deposição de sedimento, ou a degradação, que é a redução geral e progressiva do canal devido à erosão (BIRM, 2012).



**Figura 70** – Movimentos efetuados pela correnteza em torno dos pilares de uma ponte

Fonte: VITÓRIO (2015)

Segundo Vitório, a erosão localizada nas fundações é influenciada pelos fatores:

- Intensidade e direção do escoamento;
- Altura do escoamento;
- Dimensões dos sedimentos do leito do rio;
- Uniformidade dos sedimentos;
- Forma dos pilares;
- Ângulo entre o escoamento e os pilares;
- Seção de vazão projetada insuficiente;
- Localização inadequada da ponte;
- Excesso de pilares na calha do rio;
- Fundações de pilares e encontros mal concebidas e/ou executadas com profundidade insuficiente;
- Modificação do leito original do rio.

A ponte Arthur Schlosser está localizada em uma das curvas do rio Itajaí Mirim; na parte interna da curva a velocidade do fluxo aumenta, favorecendo a erosão, e na parte externa diminui, tendendo a acumular sedimentos (adaptado de BIRM, 2012).





**Figura 71** – Acúmulo de sedimentos no bloco de fundação referente a parte interna da curva - Ponte Arthur Schlosser

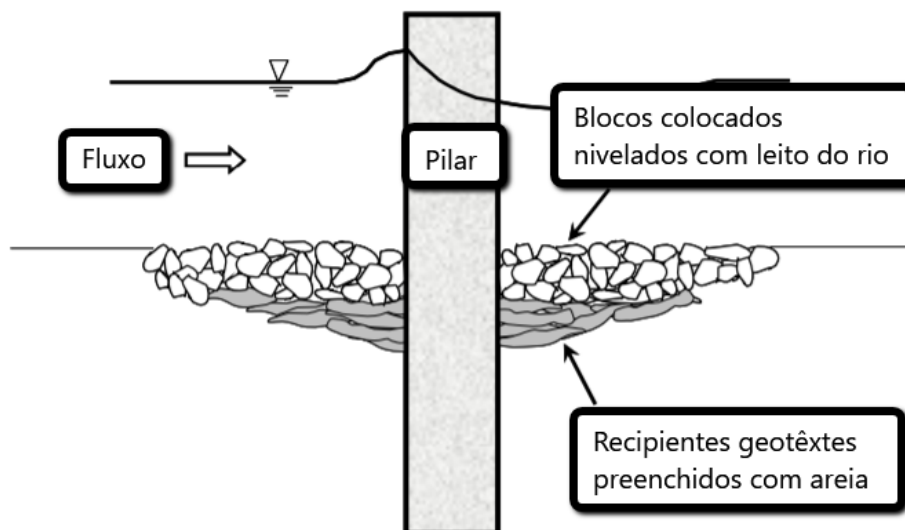
Fonte: Ana Elisa Boettger (2018).

O bloco de fundação antigo da ponte era retangular, após a interdição e reforma, essa geometria foi alterada e se encontra conforme figura acima; esse perfil em V diminui a turbulência da correnteza na infraestrutura, desempenhando a função de aparelho defletor de água e entulhos, mas ainda apresenta acúmulos que precisam ser retirados periodicamente. É essencial que a infraestrutura seja protegida contra os sedimentos e entulhos, pois a hidrodinâmica nesses elementos gera componentes de velocidade na direção perpendicular ao leito do rio; em uma cheia, a intensidade da velocidade é alta, a vazão aumenta, e consequentemente a energia do fluxo desviado na presença de entulhos é muito grande, gerando um intenso efeito de arrancamento de material do leito do rio (adaptado de *Evaluating Scour at Bridges*, FHWA, 2012).

Para evitar o solapamento das fundações em pontes, os cuidados devem ser tomados em projeto. Em casos onde a estrutura já está executada, existem alguns sistemas que evitam essa erosão. São eles:

- **SandMat™**: Este produto tipo manta consiste em dois geotêxteis com areia no meio. As camadas são costuradas para formar um geocompósito pesado e filtrante.

Na interface solo - base geotêxtil, uma manta não - tecida deve ser usada devido ao maior ângulo de atrito comparado aos geotêxteis de tecidos. Uma vez colocados, os recipientes de geotêxtil são cobertos com o material de cobertura final (por exemplo, enrocamento ou enrocamento parcialmente rebocado) como mostrado na figura a seguir (FHWA, 2009).



**Figura 72** – Planta esquemática de um tapete de enrocamento sobre filtro geotêxtil para proteção da fundação de ponte

Fonte: FHWA (2009).

- **Enrocamentos Artificiais:** consistem em unidades individuais de concreto pré-moldado com formas complexas que são colocadas individualmente ou em grupos intertravados. A principal vantagem dessas unidades é que elas geralmente têm maior estabilidade em comparação com os blocos de enrocamentos de peso equivalente. Isso se deve às características de intertravamento de suas formas complexas. A estabilidade aumentada permite a sua colocação em encostas íngremes ou o uso de unidades de peso mais leve para condições de fluxo equivalentes em comparação com o enrocamento

(Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance, FHWA, 2009).



**Figura 73** – Enrocamento artificial em pilar de ponte

Fonte: FHWA (2009).

- **Aparelhos Defletores de Água e Entulhos:** São colocados a montante dos pilares da ponte, para as quais a proteção contra o acúmulo de detritos é desejada. Embora sejam comumente extensões diretas da estrutura do píer da ponte - às vezes chamadas de “extensões do nariz do pilar” (caso da ponte Arthur Schlosser) - também podem ser independentes da ponte. Os elementos são orientados paralelamente ao fluxo do rio para maximizar a eficácia, uma vez que existe uma possibilidade maior de coleta de detritos quando o fluxo é oblíquo. Embora seja bastante eficaz, exigem remoção regular de detritos (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION IOWA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012).



**Figura 74** – Aparelho defletor de água e entulhos independente da ponte

Fonte: Bradley et al. (2005).