

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS INTERVENÇÕES DE  
ALARGAMENTO E REFORÇO DE PONTES RODOVIÁRIAS DE  
CONCRETO ARMADO EM OBRAS DE DUPLICAÇÃO DE  
RODOVIAS**

**Davidson Matos Carvalho**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

**Análise de Desempenho das Intervenções de Alargamento e Reforço de  
Pontes Rodoviárias de Concreto Armado em Obras de Duplicação de  
Rodovias**

**Davidson Matos Carvalho**

**Belo Horizonte  
2018**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

**"ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS INTERVENÇÕES DE ALARGAMENTO  
E REFORÇO DE PONTES RODOVIÁRIAS DE CONCRETO ARMADO EM  
OBRAS DE DUPLICAÇÃO DE RODOVIAS"**

Davidson Matos Carvalho

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

Comissão Examinadora:

---

Prof. Dr. José Márcio Fonseca Calixto  
DEES - UFMG (Orientador)

---

Prof. Dr. Galileu Silva Santos  
DNIT

---

Prof. Dr. Sebastião Salvador Real Pereira  
DEES - UFMG

Belo Horizonte, 07 de março de 2018

C331a	<p>Carvalho, Davidson Matos. Análise de desempenho das intervenções de alargamento e reforço de pontes rodoviárias de concreto armado em obras de duplicação de rodovias [manuscrito] / Davidson Matos Carvalho. – 2018. viii, 253 f., enc.: il.</p> <p>Orientador: José Márcio Fonseca Calixto.</p> <p>Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Apêndices: f. 209-253.</p> <p>Bibliografia: f. 206-208.</p> <p>1. Engenharia de estruturas - Teses. 2. Pontes - Teses. 3. Concreto armado - Teses. 4. Desempenho - Teses. I. Calixto, José Márcio Fonseca, 1957-. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 624(043)</p>
-------	--

Dedico este trabalho aos meus pais, meus irmãos, minha esposa Wainecy, minha filha Helena e demais familiares, amigos e colegas.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e por sempre iluminar e guiar meu caminho.

Aos meus pais, Joel e Lina, pelo exemplo de integridade, perseverança, dedicação e amor incondicional. Aos meus irmãos pelo apoio e amizade. À minha esposa Wainecy, pelo seu amor e pelo incentivo que motivou a realização deste mestrado. À minha filha Helena, por me ajudar a superar os momentos mais difíceis com sua alegria contagiante. Ao meu sobrinho Bruno, pela importante ajuda e dedicação durante a realização dos trabalhos de campo.

Ao meu orientador, o Prof. José Marcio Fonseca Calixto, pela paciência, pela dedicação, por todo o conhecimento transmitido, pela amizade e pelo apoio em todos os momentos.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia de Estruturas e do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, pelo meu desenvolvimento intelectual durante o mestrado. Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Prof. Felício Bruzzi Barros, pelo apoio e incentivo desde a época da graduação. Aos colaboradores do Departamento de Engenharia de Estruturas pelo apoio em todos os momentos. Aos colegas da pós-graduação, pela amizade e companheirismo.

Ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, pela oportunidade de afastamento para dedicação integral ao trabalho desenvolvido no mestrado. Ao Coordenador de Engenharia, o Eng<sup>o</sup> Danilo de Sá Viana Rezende, pelo incentivo aos estudos. Ao Superintendente Regional no Estado de Minas Gerais, o Eng<sup>o</sup> Fabiano Martins Cunha, pela autorização e apoio que viabilizaram a concessão da licença para o mestrado. Aos demais colegas da Superintendência Regional do DNIT no Estado de Minas e da Sede em Brasília, que de alguma forma contribuíram para realização desta pesquisa de mestrado.

Ao Eng<sup>o</sup> Marco Túlio Fleury, pelo material cedido e por compartilhar experiências e conhecimentos que foram importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais – DEER/MG, à Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT e à concessionária Triunfo Concebra, pelo material cedido para o estudo.

*Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.*

*Albert Einstein*

## RESUMO

Atualmente existe uma demanda crescente por obras de alargamento e reforço estrutural de pontes e viadutos das rodovias brasileiras, que além de apresentarem problemas de natureza estrutural (seja pela deterioração da estrutura ou pela desatualização quanto aos carregamentos móveis exigidos pelas normas vigentes e efetivamente transmitidos pela frota de veículos que nelas trafegam), em muitos casos também se tornam “gargalos” logísticos, por possuírem seções transversais insuficientes para a demanda atual de veículos. Este trabalho propõe uma avaliação de desempenho das intervenções de alargamento e reforço empregadas em pontes que foram reabilitadas, visando atender às novas exigências de rodovias que passaram por obras de duplicação, inclusive comparando o seu desempenho com as respectivas pontes construídas ao lado das mesmas para receber a pista nova. Essa comparação se mostra adequada, considerando que ambas as pontes estão inseridas no mesmo microclima, sob as mesmas características de tráfego e possuem vãos e sistemas estruturais compatíveis. Para este estudo, foram selecionados cinco pares de pontes cujas obras tenham sido concluídas no intervalo de 5 a 15 anos. As pontes foram avaliadas por meio de vistorias posteriores à liberação para o tráfego, de acordo com critérios estabelecidos pelas normas vigentes. O estudo mostra a importância de um sistema de drenagem eficiente e das atividades de manutenção para a durabilidade das pontes rodoviárias de concreto armado. Os resultados obtidos permitem conhecer a eficácia das intervenções de alargamento e reforço realizadas, sob o ponto de vista da durabilidade, contribuindo para a melhoria de projetos futuros de reabilitação de pontes rodoviárias de concreto armado.

Palavras-chave: Pontes rodoviárias em concreto armado; alargamento; reforço; desempenho.

## ABSTRACT

Currently there is a growing demand for widening and strengthening of reinforced concrete highway bridges. In addition of presenting structural problems (either due to the deterioration of the structure as well as the obsolescence in terms of live loads required by the current design codes), these bridges have also become in many cases logistical "bottlenecks", due to their insufficient cross sections for the current traffic demand. This work proposes a performance evaluation of the widening and strengthening interventions employed in bridges that were rehabilitated to meet the new requirements of Brazilian highway system. The study includes comparing their performance with the respective new bridges built next to them, which received the new lane. This comparison is adequate, considering that, both bridges are inserted in the same microclimate, are subjected to the same traffic characteristics and have compatible spans and structural systems. Five pairs of bridges were chosen for this study, whose works have been completed in the interval of 5 to 15 years. The bridges were evaluated through in-situ inspections according to criteria established by current regulations. The investigation shows the importance of an effective drainage system and the maintenance activities for the durability of reinforced concrete highway bridges. The results obtained allow us to know the effectiveness of the widening and strengthening interventions carried out, from the point of view of durability, contributing to the improvement of future rehabilitation design for reinforced concrete highway bridges.

Key words: Reinforced concrete highway bridges; widening; strengthening; performance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Elementos constituintes de uma ponte.....	5
Figura 2.2 - Seção transversal de uma ponte que foi alargada com a utilização de concreto convencional.....	19
Figura 2.3 - Seção transversal de uma longarina reforçada com chapas metálicas e aumento da seção .....	21
Figura 3.1 - Etapas do estudo de caso proposto.....	33
Figura 4.1 - Foto das pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim .....	37
Figura 4.2 - Localização das pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim .....	38
Figura 4.3 - Características geométricas da ponte original sobre o Rio Sapucaí Mirim.....	40
Figura 4.4 - Registro fotográfico da inspeção da ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim antes da reabilitação.....	43
Figura 4.5 - Detalhes do alargamento da laje com protensão transversal.....	45
Figura 4.6 - Execução do alargamento e reforço da laje.....	45
Figura 4.7 - Detalhes do reforço das longarinas com protensão externa.....	47
Figura 4.8 - Detalhes da execução do reforço dos pilares da ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim.....	47
Figura 4.9 - Detalhes de projeto da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim.....	50
Figura 4.10 - Execução da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim.....	51
Figura 4.11 - Evolução das notas técnicas atribuídas às pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim, de acordo com a norma DNIT 010/2004.....	53
Figura 4.12 - Condições da pista de rolamento da ponte reabilitada sobre o Rio Sapucaí Mirim.....	56
Figura 4.13 - Situação da superestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Sapucaí Mirim .....	58
Figura 4.14 - Situação da mesoestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Sapucaí Mirim .....	59
Figura 4.15 – Situação da infraestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Sapucaí Mirim .....	60
Figura 4.16 - Condições da pista de rolamento da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim .....	62
Figura 4.17 - Situação da superestrutura da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim .....	64
Figura 4.18 - Situação da mesoestrutura da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim .....	65
Figura 4.19 – Situação da infraestrutura da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim .....	66
Figura 4.20 - Notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim .....	67
Figura 4.21 - Foto das pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	71
Figura 4.22 - Localização das pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	72

Figura 4.23 - Características geométricas da ponte original sobre o Ribeirão Mateus Leme...	75
Figura 4.24 - Detalhes do projeto de alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	78
Figura 4.25 - Execução do alargamento e reforço da laje da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	78
Figura 4.26 - Detalhes do reforço dos pilares da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	79
Figura 4.27 - Detalhes da execução da troca de aparelhos de apoio e do reforço dos pilares da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	80
Figura 4.28 - Detalhes do reforço da infraestrutura da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme.	80
Figura 4.29 - Detalhes de projeto da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	83
Figura 4.30 - Execução da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	84
Figura 4.31 - Evolução das notas técnicas atribuídas às pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme, de acordo com a norma DNIT 010/2004.....	85
Figura 4.32 - Condições da pista de rolamento da ponte reabilitada sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	88
Figura 4.33 - Situação da superestrutura da ponte reabilitada sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	90
Figura 4.34 - Situação da mesoestrutura da ponte reabilitada sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	92
Figura 4.35 – Situação da infraestrutura da ponte reabilitada sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	93
Figura 4.36 - Condições da pista de rolamento da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	96
Figura 4.37 - Situação da superestrutura da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	97
Figura 4.38 - Situação da mesoestrutura da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	99
Figura 4.39 – Situação da infraestrutura da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	100
Figura 4.40 - Notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	101
Figura 4.41 - Foto das pontes sobre o Rio Paraopeba.....	104
Figura 4.42 - Localização das pontes sobre o Rio Paraopeba.....	104
Figura 4.43 - Características geométricas da ponte original sobre o Rio Paraopeba.....	106
Figura 4.44 - Detalhes do projeto de alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Rio Paraopeba.....	109
Figura 4.45 - Execução do alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Rio Paraopeba.....	110

Figura 4.46 - Detalhes do reforço dos pilares da ponte Sobre o Rio Paraopeba.....	111
Figura 4.47 - Detalhes do reforço da infraestrutura da ponte sobre o Rio Paraopeba.....	112
Figura 4.48 - Detalhes de projeto da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.....	115
Figura 4.49 - Execução da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.....	116
Figura 4.50 - Evolução das notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Rio Paraopeba, de acordo com a norma DNIT 010/2004.....	117
Figura 4.51 - Condições da pista de rolamento da ponte reabilitada sobre o Rio Paraopeba.....	120
Figura 4.52 - Situação da superestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Paraopeba.....	122
Figura 4.53 - Situação da mesoestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Paraopeba.....	123
Figura 4.54 - Situação da infraestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Paraopeba.....	124
Figura 4.55 - Condições da pista de rolamento da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.....	127
Figura 4.56 - Situação da superestrutura da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.....	128
Figura 4.57 - Situação da mesoestrutura da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.....	130
Figura 4.58 - Situação da infraestrutura da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.....	131
Figura 4.59 - Notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Rio Paraopeba.....	133
Figura 4.60 – Foto das pontes sobre o Rio Pará.....	135
Figura 4.61 - Localização das pontes sobre o Rio Pará.....	136
Figura 4.62 - Características geométricas da ponte original sobre o Rio Pará.....	138
Figura 4.63 - Detalhes do projeto de alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Rio Pará.....	141
Figura 4.64 - Execução do alargamento e reforço da laje da ponte sobre o Rio Pará.....	142
Figura 4.65 - Detalhes do projeto de reforço dos pilares da ponte sobre o Rio Pará.....	142
Figura 4.66 - Detalhes da execução da troca de aparelhos de apoio da ponte Sobre o Rio Pará.....	143
Figura 4.67 - Detalhes do reforço da infraestrutura da ponte sobre o Rio Pará.....	144
Figura 4.68 - Execução do reforço da infraestrutura da ponte sobre o Rio Pará.....	145
Figura 4.69 - Detalhes de projeto da ponte nova sobre o Rio Pará.....	147
Figura 4.70 - Execução da ponte nova sobre o Rio Pará.....	148
Figura 4.71 - Evolução das notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Rio Pará, de acordo com a norma DNIT 010/2004.....	149
Figura 4.72 - Condições da pista de rolamento da ponte reabilitada sobre o Rio Pará.....	152
Figura 4.73 - Situação da superestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Pará.....	154

Figura 4.74 – Situação da mesoestrutura da ponte rehabilitada sobre o Rio Pará.....	155
Figura 4.75 - Situação da infraestrutura da ponte rehabilitada sobre o Rio Pará.....	156
Figura 4.76 - Condições da pista de rolamento da ponte nova sobre o Rio Pará.....	159
Figura 4.77 - Situação da superestrutura da ponte nova sobre o Rio Pará.....	161
Figura 4.78 - Situação da mesoestrutura da ponte nova sobre o Rio Pará.....	162
Figura 4.79 - Situação da infraestrutura da ponte nova sobre o Rio Pará.....	163
Figura 4.80 - Notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Rio Pará.....	165
Figura 4.81 - Foto das pontes sobre o Ribeirão dos Paivas.....	168
Figura 4.82 - Localização das pontes sobre o Ribeirão dos Paivas.....	168
Figura 4.83 - Características geométricas da ponte original sobre o Ribeirão dos Paivas.....	170
Figura 4.84 - Detalhes do projeto de alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Ribeirão dos Paivas.....	173
Figura 4.85 - Execução do alargamento e reforço da laje da ponte sobre o Ribeirão dos Paivas.....	174
Figura 4.86 - Detalhes do projeto de reforço dos pilares da ponte sobre o Ribeirão dos Paivas.....	175
Figura 4.87 - Detalhes do reforço da infraestrutura da ponte sobre o Ribeirão dos Paivas.....	177
Figura 4.88 - Execução dos serviços de recuperação da ponte sobre o Ribeirão dos Paivas..	178
Figura 4.89 - Detalhes de projeto da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.....	180
Figura 4.90 - Execução da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.....	180
Figura 4.91 - Evolução das notas técnicas atribuídas às pontes sobre o Ribeirão dos Paiva, de acordo com a norma DNIT 010/2004.....	181
Figura 4.92 - Condições da pista de rolamento da ponte rehabilitada sobre o Ribeirão dos Paivas.....	184
Figura 4.93 - Situação da superestrutura da ponte rehabilitada sobre o Ribeirão dos Paivas...186	
Figura 4.94 - Situação da mesoestrutura da ponte rehabilitada sobre o Ribeirão dos Paivas...187	
Figura 4.95 - Situação da infraestrutura da ponte rehabilitada sobre o Ribeirão dos Paivas....187	
Figura 4.96 - Condições da pista de rolamento da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas..190	
Figura 4.97 - Situação da superestrutura da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.....192	
Figura 4.98 - Situação da mesoestrutura da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.....192	
Figura 4.99 - Situação da infraestrutura da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.....193	
Figura 4.100 - Notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Ribeirão dos Paivas.....195	
Figura 4.101 - Comparação entre as notas técnicas atuais e anteriores, seguindo a metodologia do DNIT.....	197

Figura 4.102 - Grau de deterioração de cada ponte, seguindo a metodologia GDE-UnB.....	198
Figura 4.103 - Nota Técnica x Extensão da Ponte.....	200
Figura 4.104 - Nota Técnica x Comprimento do Vão Maior.....	200
Figura 4.105 - Nota Técnica x Data de Construção da Ponte.....	201

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Principais características das pontes rodoviárias brasileiras de acordo com o seu período de construção.....	6
Quadro 2.2 - Critérios para atribuição de notas técnicas.....	28
Quadro 2.3 - Correlação entre notas técnicas, condição da ponte e caracterização dos problemas detectados.....	29
Quadro 2.4 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura e ações recomendadas.....	31
Quadro 3.1 - Dados principais das pontes selecionadas para a pesquisa.....	35
Quadro 4.1 - Principais características do projeto original da ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim.....	39
Quadro 4.2 - Principais anomalias identificadas na inspeção da ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim antes da reabilitação.....	41
Quadro 4.3 - Principais características do projeto da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim.....	49
Quadro 4.4 - Principais danos identificados nas inspeções já realizadas.....	51
Quadro 4.5 - Resultados da inspeção da ponte reabilitada sobre o Rio Sapucaí Mirim.....	60
Quadro 4.6 - Resultados da inspeção da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim.....	66
Quadro 4.7 - Principais características do projeto original da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	73
Quadro 4.8 - Principais características do projeto da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	81
Quadro 4.9 - Principais danos identificados nas inspeções já realizadas.....	84
Quadro 4.10 - Resultados da inspeção da ponte reabilitada sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	93
Quadro 4.11 - Resultados da inspeção da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	100
Quadro 4.12 - Principais características do projeto original da ponte sobre o Rio Paraopeba.....	105
Quadro 4.13 - Principais características do projeto da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.....	113
Quadro 4.14 - Principais danos identificados nas inspeções já realizadas.....	116
Quadro 4.15 - Resultados da inspeção da ponte reabilitada sobre o Rio Paraopeba.....	125
Quadro 4.16 - Resultados da inspeção da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.....	131
Quadro 4.17 - Principais características do projeto original da ponte sobre o Rio Pará.....	136
Quadro 4.18 - Principais características do projeto da ponte nova sobre o Rio Pará.....	146
Quadro 4.19 - Principais danos identificados nas inspeções já realizadas.....	148
Quadro 4.20 - Resultados da inspeção da ponte reabilitada sobre o Rio Pará.....	157

Quadro 4.21 - Resultados da inspeção da ponte nova sobre o Rio Pará.....	163
Quadro 4.22 - Principais características do projeto original da ponte sobre o Ribeirão dos Paivas.....	169
Quadro 4.23 - Principais características do projeto da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.....	178
Quadro 4.24 - Principais danos identificados nas inspeções já realizadas.....	181
Quadro 4.25 - Resultados da inspeção da ponte reabilitada sobre o Ribeirão dos Paivas.....	188
Quadro 4.26 - Resultados da inspeção da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.....	193

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DER/MG – Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes

OAE – Obra de Arte Especial

PER – Programa de Exploração Rodoviária

SGO – Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais

TCU – Tribunal de Contas da União

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações Gerais.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo Geral .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
1.3 Justificativa .....	3
1.4 Organização do Trabalho.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Pontes Rodoviárias .....	5
2.1.1 Conceitos .....	5
2.1.2 Evolução das pontes rodoviárias no Brasil.....	6
2.2 Patologia em Estruturas de Concreto Armado.....	7
2.3 Danos Usuais em Pontes de Concreto Armado no Brasil.....	8
2.3.1 Desgaste superficial do concreto .....	9
2.3.2 Deterioração do concreto.....	9
2.3.3 Biodeterioração do concreto.....	10
2.3.4 Falhas de concretagem.....	10
2.3.5 Falhas causadas por colisão.....	11
2.3.6 Fissuras .....	11
2.3.7 Deformações excessivas.....	12
2.3.8 Recalque de apoio.....	12
2.3.9 Esmagamento do concreto.....	13
2.3.10 Corrosão de armaduras .....	13
2.4 Intervenções em pontes de concreto armado .....	13
2.5 Procedimentos de recuperação em pontes de concreto armado.....	14

2.5.1	Limpeza superficial do concreto.....	15
2.5.2	Remoção e substituição de concreto.....	15
2.5.3	Remoção da corrosão.....	16
2.5.4	Tratamento de falhas de concretagem ou desagregações .....	16
2.5.5	Tratamento das trincas e fissuras.....	17
2.5.6	Aplicação de revestimentos protetores .....	18
2.6	Procedimentos de alargamento em pontes de concreto armado .....	18
2.6.1	Alargamento com concreto armado convencional .....	19
2.6.2	Alargamento com protensão externa .....	19
2.6.3	Alargamento com vigas pré-moldadas .....	20
2.6.4	Alargamento com vigas mistas.....	20
2.7	Procedimentos de reforço em pontes de concreto armado.....	20
2.7.1	Aumento da capacidade de elementos da superestrutura .....	21
2.7.2	Aumento da capacidade de elementos da mesoestrutura.....	22
2.7.3	Aumento da capacidade de elementos da infraestrutura .....	22
2.8	Inspeção e avaliação de OAEs.....	23
2.8.1	Tipos de inspeção .....	25
2.8.2	Profissionais de inspeção.....	26
2.8.3	Equipamentos de inspeção e práticas de segurança.....	27
2.8.4	Critério de avaliação adotado pelo DNIT.....	28
2.8.5	Critério de avaliação segundo a norma ABNT NBR 9452:2016 .....	29
2.8.6	Critério de avaliação desenvolvido na UnB .....	30
3.	METODOLOGIA.....	33
3.1	Procedimentos.....	34
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	37
4.1	Pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim .....	37
4.1.1	Ponte Reabilitada.....	38
4.1.1.1	Descrição da ponte original.....	38

4.1.1.2 Situação da ponte antes das intervenções de reabilitação .....	41
4.1.1.3 Procedimentos de alargamento e reforço estrutural .....	43
4.1.2 Ponte Nova .....	48
4.1.2.1 Descrição da ponte nova .....	48
4.1.3 Inspeções anteriores.....	51
4.1.4 Resultado das inspeções realizadas em 2017 .....	54
4.1.4.1 Inspeção realizada na ponte reabilitada.....	54
4.1.4.2 Inspeção realizada na ponte nova.....	61
4.1.5 Comparação entre as pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim.....	67
4.2 Pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme .....	71
4.2.1 Ponte Reabilitada.....	72
4.2.1.1 Descrição da ponte original.....	72
4.2.1.2 Situação da ponte antes das intervenções de reabilitação .....	75
4.2.1.3 Procedimentos de alargamento e reforço estrutural .....	76
4.2.2 Ponte Nova .....	81
4.2.2.1 Descrição da ponte nova .....	81
4.2.3 Inspeções anteriores.....	84
4.2.4 Resultado das inspeções realizadas em 2017 .....	85
4.2.4.1 Inspeção realizada na ponte reabilitada.....	86
4.2.4.2 Inspeção realizada na ponte nova.....	94
4.2.5 Comparação entre as pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme.....	101
4.3 Pontes sobre o Rio Paraopeba .....	103
4.3.1 Ponte Reabilitada.....	105
4.3.1.1 Descrição da ponte original.....	105
4.3.1.2 Situação da ponte antes das intervenções de reabilitação .....	107
4.3.1.3 Procedimentos de alargamento e reforço estrutural .....	107
4.3.2 Ponte Nova .....	113

4.3.2.1 Descrição da ponte nova .....	113
4.3.3 Inspeções anteriores.....	116
4.3.4 Resultado das inspeções realizadas em 2017 .....	118
4.3.4.1 Inspeção realizada na ponte reabilitada.....	118
4.3.4.2 Inspeção realizada na ponte nova.....	125
4.3.5 Comparação entre as pontes sobre o Rio Paraopeba .....	132
4.4 Pontes sobre o Rio Pará .....	135
4.4.1 Ponte Reabilitada.....	136
4.4.1.1 Descrição da ponte original.....	136
4.4.1.2 Situação da ponte antes das intervenções de reabilitação .....	139
4.4.1.3 Procedimentos de alargamento e reforço estrutural .....	139
4.4.2 Ponte Nova .....	145
4.4.2.1 Descrição da ponte nova .....	145
4.4.3 Inspeções anteriores.....	148
4.4.4 Resultado das inspeções realizadas em 2017 .....	150
4.4.4.1 Inspeção realizada na ponte reabilitada.....	150
4.4.4.2 Inspeção realizada na ponte nova.....	157
4.4.5 Comparação entre as pontes sobre o Rio Pará.....	164
4.5 Pontes sobre o Ribeirão dos Paivas .....	167
4.5.1 Ponte Reabilitada.....	169
4.5.1.1 Descrição da ponte original.....	169
4.5.1.2 Situação da ponte antes das intervenções de reabilitação .....	171
4.5.1.3 Procedimentos de alargamento e reforço estrutural .....	171
4.5.2 Ponte Nova .....	178
4.5.2.1 Descrição da ponte nova .....	178
4.5.3 Inspeções anteriores.....	180
4.5.4 Resultado das inspeções realizadas em 2017 .....	182

4.5.4.1 Inspeção realizada na ponte reabilitada.....	182
4.5.4.2 Inspeção realizada na ponte nova.....	188
4.5.5 Comparação entre as pontes sobre o Ribeirão dos Paivas.....	194
4.6 Análise dos resultados .....	196
5. CONCLUSÕES .....	203
5.1 Sugestões para trabalhos futuros .....	205
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	206
APÊNDICE A - FICHAS DE INSPEÇÃO DAS PONTES SOBRE O RIO SAPUCAÍ MIRIM .....	209
APÊNDICE B - FICHAS DE INSPEÇÃO DAS PONTES SOBRE O RIBEIRÃO MATEUS LEME .....	217
APÊNDICE C - FICHAS DE INSPEÇÃO DAS PONTES SOBRE O RIO PARAPEBA .....	225
APÊNDICE D - FICHAS DE INSPEÇÃO DAS PONTES SOBRE O RIO PARÁ .....	233
APÊNDICE E - FICHAS DE INSPEÇÃO DAS PONTES SOBRE O RIBEIRÃO DOS PAIVAS.....	241
APÊNDICE F – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PACOMETRIA .....	249

# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações Gerais

A história do rodoviarismo brasileiro começou a ser escrita em 1861, com a inauguração da primeira estrada de rodagem do Brasil, a estrada União Indústria, que ligava as cidades de Petrópolis a Juiz de Fora, seguido pela construção da primeira ligação entre Rio de Janeiro e São Paulo, em 1927. Em 1937 foi criado o extinto Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - DNER, responsável pela implantação efetiva da malha rodoviária brasileira, que ocorreu a partir da década de 40, juntamente com a edição das primeiras normas brasileiras. Em 1950, o país já contava com 968 km de rodovias pavimentadas, mas esse crescimento teve seu ápice entre as décadas de 60 e 70, quando foram construídas grandes obras que interligavam praticamente todas as capitais dos estados, inclusive a emblemática ponte Rio-Niterói, inaugurada em 1974, com extensão total de 13,9 km. Em 1980 o Brasil já contava com 47 mil quilômetros de rodovias federais pavimentadas e atualmente possui uma malha de 64.825 km, sendo duplicadas em apenas 6.351 km (DNIT, 2004a; DNIT, 2017a; DNIT, 2017b).

Desde a década de 40, as normas referentes ao cálculo e execução de estruturas de concreto evoluíram, assim como os veículos que utilizam as rodovias e os materiais utilizados nas obras, resultando em diversas atualizações de normas ao longo do tempo. Por esse motivo, aliado ao fato de algumas pontes já terem sido substituídas, recuperadas, reforçadas e/ou alargadas, a malha rodoviária brasileira possui um perfil bastante heterogêneo de pontes, com idades variadas e projetadas seguindo diferentes critérios de dimensionamento (DNIT, 2004a).

Segundo Vítório (2013), as atividades de alargamento e reforço de pontes rodoviárias começaram a chamar a atenção da comunidade técnica brasileira a partir de meados da década de 90, quando teve início diversas obras de duplicação e/ou alargamento de importantes rodovias federais e estaduais. Essas obras de adequação de capacidade alertaram para a necessidade de maiores estudos sobre as intervenções estruturais em pontes e viadutos.

Atualmente existe uma demanda crescente por obras de alargamento e reforço estrutural de pontes e viadutos das rodovias brasileiras, nos âmbitos federal, estadual e municipal. Grande parcela delas, além de apresentarem problemas de natureza estrutural (seja pela deterioração da estrutura ou pela desatualização quanto aos carregamentos móveis exigidos pelas normas vigentes e efetivamente transmitidos pela frota de veículos que nelas trafegam), também apresentam seções transversais insuficientes para a demanda atual de veículos (VITÓRIO e BARROS, 2014).

De acordo com relatório do TCU (2012), a malha rodoviária federal possuía a época 5.612 obras de artes especiais – OAEs identificadas, sendo que desse total, 4.105 apresentavam problemas de estreitamento de pista. Um levantamento recente realizado pelo DNIT identificou um total de 7.644 OAEs pertencentes à malha rodoviária federal, incluindo pontes, viadutos e passagens inferiores. Existem atualmente 4.752 OAEs cadastradas no Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais do DNIT - SGO, sendo 255 classificadas como condição problemática e seis como crítica (DNIT, 2018).

Neste cenário, este trabalho propõe uma avaliação de desempenho das intervenções de alargamento e reforço empregadas em pontes de concreto armado que foram reabilitadas, visando atender às novas exigências de rodovias que passaram por obras de duplicação, inclusive comparando o seu desempenho com as respectivas pontes construídas ao lado das mesmas para receber a pista nova. Essa comparação se mostra adequada, considerando que ambas as pontes estão inseridas no mesmo microclima, sob as mesmas características de tráfego e possuem vãos e sistemas estruturais semelhantes. As pontes foram avaliadas através de vistorias posteriores à liberação para o tráfego, de acordo com critérios estabelecidos pelas normas vigentes. Inicialmente foi realizado um estudo detalhado das pontes selecionadas para esta pesquisa, abrangendo os projetos originais das obras existentes, projetos executivos de alargamento e reforço, projetos de construção das pontes novas, relatórios de execução das obras e inspeções que já foram realizadas desde a conclusão das obras.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo desta pesquisa é avaliar o desempenho das intervenções de alargamento e reforço que foram realizadas em cinco pontes rodoviárias de concreto armado, em obras de duplicação de rodovias federais.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Descrever a situação das obras de arte especiais antes das intervenções de reabilitação, os danos identificados e as respectivas medidas terapêuticas adotadas no projeto de recuperação estrutural;
- Analisar os procedimentos de alargamento e reforço adotados em cada ponte, bem como os projetos das pontes novas que foram construídas ao lado das existentes para receberem as pistas duplicadas;
- Verificar a situação atual destas obras através de inspeções visuais realizadas “in loco”, bem como o seu desempenho desde a conclusão das obras baseados em relatórios de inspeções anteriores;
- Apresentar uma análise comparativa de desempenho entre as construções novas e as pontes antigas que receberam intervenções de alargamento e reforço.

## **1.3 Justificativa**

Existe atualmente uma grande demanda de obras de reforço, recuperação e reabilitação de pontes e viadutos nas rodovias brasileiras. Observa-se, no entanto, que faltam registros de informações técnicas e gerenciais referentes ao desempenho das intervenções que já foram realizadas até o momento. Em pesquisa similar realizada por Oliveira (2013), foram apontados alguns aspectos nas intervenções de reforço estrutural realizadas em pontes de concreto armado, que inevitavelmente comprometeram a durabilidade da estrutura e dos próprios elementos de reforço implantados. Essas informações são essenciais para que os problemas identificados não se repitam em outras obras de reforço a serem realizadas no futuro.

Neste âmbito, a análise de desempenho das intervenções de alargamento, reforço e recuperação empregados na reabilitação de pontes antigas em obras de duplicação de rodovias, fornecerá subsídios para a elaboração de projetos futuros de reabilitação de pontes rodoviárias, trazendo informações importantes referentes à eficácia das intervenções de alargamento e reforço sob o ponto de vista da durabilidade, podendo contribuir inclusive no processo decisório sobre a viabilidade do aproveitamento de estruturas antigas em obras de duplicação de rodovias. Além disso, esta pesquisa irá diminuir uma carência de pesquisas e de literatura técnica especializada no Brasil sobre alargamento e reforço de pontes e viadutos.

## **1.4 Organização do Trabalho**

Esta dissertação é composta por cinco capítulos e seis apêndices, sendo o primeiro esta introdução, onde são apresentados os aspectos gerais do trabalho, expondo os principais assuntos abordados, a contextualização do tema da pesquisa no estado atual de conhecimento específico, a delimitação do assunto a ser estudado, os objetivos e a justificativa para a realização desta pesquisa.

O segundo capítulo traz uma breve revisão bibliográfica sobre o tema, apresentando alguns conceitos essenciais para a compreensão dos estudos de caso propostos e principalmente para a interpretação dos resultados que serão obtidos.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia utilizada para a realização desta pesquisa, com a descrição dos procedimentos que foram adotados em cada uma de suas etapas.

O quarto capítulo é composto pela pesquisa de campo do estudo realizado. Neste são relatadas todas as informações referentes às pontes avaliadas e são apresentados os resultados obtidos nas inspeções realizadas. Para cada par de pontes é realizada uma análise comparativa de desempenho e ao final é feita uma análise geral dos resultados de todas as pontes avaliadas.

Finalmente, o quinto capítulo traz as considerações finais do trabalho, bem como algumas sugestões para trabalhos futuros. Quanto aos apêndices, trata-se das fichas de inspeções que foram realizadas neste estudo, além dos resultados obtidos nos ensaios de pacometria.

# 2

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Pontes Rodoviárias

#### 2.1.1 Conceitos

Ponte rodoviária pode ser definida como uma estrutura destinada a transpor obstáculos à continuidade de uma via, podendo esses obstáculos ser constituídos por água ou não. Quando a ponte transpõe obstáculos não constituídos por água, como vales ou outras vias de tráfego, adota-se a denominação de viaduto (PFEIL, 1983a).

As pontes podem ser divididas, sob o ponto de vista funcional, em três partes principais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura (PFEIL, 1983b). A infraestrutura trata-se da fundação da ponte e tem a função de transmitir ao terreno natural os esforços recebidos pela mesoestrutura. Constituem a infraestrutura os blocos, sapatas, estacas, tubulões, etc. A mesoestrutura, constituída pelos pilares, encontros e aparelhos de apoios, é o elemento que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura. A superestrutura é o elemento de suporte imediato do estrado, composta geralmente por lajes, vigas principais e vigas secundárias. A Figura 2.1 identifica os elementos que constituem uma ponte.

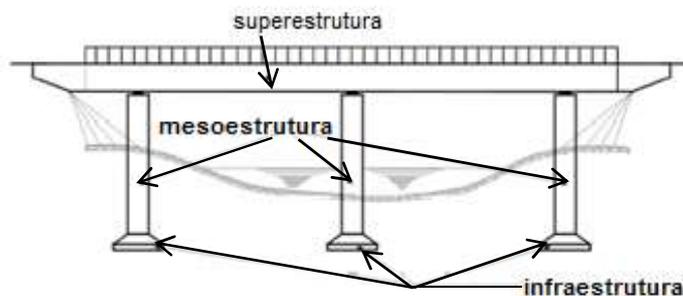


Figura 2.1: Elementos constituintes de uma ponte.  
Fonte: Vitório, 2002

Segundo Vitério (2002), as pontes podem ser classificadas quanto à finalidade, quanto ao material utilizado na construção e quanto ao sistema estrutural adotado. Quanto à finalidade, uma ponte pode ser classificada como: rodoviária, ferroviária, rodoferroviária, passarela ou aeroviária. Quanto aos materiais, as pontes podem ser de madeira, de pedra, metálicas, de concreto armado ou protendido. É comum também o uso de estruturas mistas, onde materiais diferentes são empregados na mesma obra. Quanto ao sistema estrutural, existem pontes com a superestrutura em lajes maciças, pontes em vigas (apoiadas, contínuas ou Gerber), pontes em estrado celular (caixão), pontes em grelhas, pontes em pórticos, pontes em arco, pontes pênséis e pontes estaiadas.

### 2.1.2 Evolução das pontes rodoviárias no Brasil

As pontes que compõem a malha rodoviária federal foram construídas a partir da década de 40, juntamente com a edição das primeiras normas brasileiras (DNIT, 2004a). A partir de então, as normas referentes ao cálculo e execução de estruturas de concreto foram evoluindo, assim como os veículos que utilizam as rodovias e os materiais utilizados nas obras, resultando em diversas atualizações de normas ao longo do tempo e conseqüentemente gerando um perfil bastante heterogêneo de pontes. As pontes existentes nas rodovias brasileiras possuem características diferentes como classe, geometria, cargas móveis de projeto, tipos de barreiras de segurança e guarda-corpo, que variam de acordo com a data de construção. O Quadro 2.1 apresenta as principais características das pontes rodoviárias brasileiras de acordo com o seu período de construção.

Quadro 2.1: Principais características das pontes rodoviárias brasileiras de acordo com o seu período de construção.

Fonte: Adaptado de DNIT, 2004a.

<b>Período</b>	<b>Normas Vigentes/ Classe</b>	<b>Características Geométricas (Seção Transversal)</b>
<b>Até 1950</b>	NB-1/1946 NB-2/1946 NB-6/1946 Classe 24	Largura total: 8,30m Largura de pista: 7,20m Dois guarda-rodas de 0,55m Dois guarda-corpos de 0,15 x 0,60m

<b>De 1950 a 1960</b>	NB-1/1946 NB-2/1946 NPER/1949 Classe 24	Largura total: 8,30m Largura de pista: 7,20m Dois guarda-rodas de 0,55m Dois guarda-corpos de 0,15 x 0,60m
<b>De 1960 a 1975</b>	NB-1/1960 NB-2/1960 NB-6/1960 Classe 36	Largura total: 10,00m Largura de pista: 8,20m Dois guarda-rodas de 0,90m Dois guarda-corpos de 0,15 x 0,90m
<b>De 1975 a 1985</b>	NB-1/1978 NB-2/1960 NB-6/1960 Classe 36	Largura total: $\geq 10,80\text{m}$ Largura de pista: $\geq 10,00\text{m}$ Barreiras tipo New Jersey
<b>Após 1985</b>	NBR 6118/78 NB-2/1987 NBR 7188/84 Classe 45	Largura total: $\geq 12,80\text{m}$ Largura de pista: $\geq 12,00\text{m}$ Barreiras tipo New Jersey

## 2.2 Patologia em Estruturas de Concreto Armado

De acordo com Helene (2003), o termo “patologia” pode ser definido como “... a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema”. Já a “terapia”, é o ramo da engenharia que trata dos procedimentos que visam à correção e solução dos problemas patológicos.

Os sintomas, também chamados de lesões, danos ou manifestações patológicas, são manifestações externas características, que podem ser detectados a partir de observações visuais e podem indicar a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, orientando desta forma um primeiro diagnóstico (HELENE, 2003). São exemplos de sintomas as fissuras, eflorescências, manchas, flechas excessivas, corrosão de armaduras, desagregação do concreto, falhas de concretagem, etc.

O mecanismo é o processo, através do qual ocorre um problema patológico. A corrosão de armaduras, por exemplo, é um fenômeno de natureza eletroquímica que ocorre quando o ambiente ou o material oferece condições propícias para tal fenômeno. Os agentes causadores desses problemas podem ser vários, como incompatibilidade de materiais, agentes atmosféricos, variação de umidade, variações térmicas intrínsecas e extrínsecas ao concreto, agentes biológicos, excesso de carga, etc. (HELENE, 2003).

A origem trata-se da definição da fase do processo construtivo em que teve início o fenômeno que provocou as manifestações patológicas. A origem desses fenômenos pode estar em, pelo menos, uma das cinco grandes etapas que compõem um processo de construção e uso: planejamento, projeto, fabricação de materiais e componentes fora do canteiro, execução propriamente dita e uso (HELENE, 2003). Para a obtenção de um diagnóstico adequado do problema, é fundamental a identificação da etapa em que surgiu o problema patológico. Esse diagnóstico permitirá a indicação de uma terapia mais apropriada, além de permitir a responsabilização de quem cometeu a falha.

Além do diagnóstico dos problemas patológicos, é conveniente também que se conheçam as consequências que determinado problema identificado causa no comportamento geral da estrutura, ou seja, o prognóstico. Esse conceito é bastante utilizado em sistemas de gestão de pontes, quando é necessário classificar um conjunto de obras, visando definir prioridade para as intervenções.

O conhecimento dos conceitos de patologia é importante, não somente para a recuperação adequada de estruturas que apresentam danos, mas principalmente para que sejam tomadas medidas preventivas em cada etapa do processo de construção e dessa forma sejam evitados problemas futuros na obra.

### **2.3 Danos Usuais em Pontes de Concreto Armado no Brasil**

Segundo Pfeil (1983a), os principais danos encontrados em pontes de concreto armado são: deterioração do concreto, corrosão das armaduras, fissuras, deformações excessivas, defeitos causados por incêndio, falhas de concretagem e falhas provocadas por colisão. Além desses

danos, é comum também a ocorrência de recalque de apoio, esmagamento do concreto, biodeterioração do concreto e desgaste superficial do concreto (VERLY, 2015).

Em pesquisa recente, Verly (2015) listou todos os danos identificados nas inspeções realizadas em 22 OAEs localizadas em Brasília/DF, sendo a maior incidência de danos para as fissuras (27,88%), seguida por falha de concretagem e manchas (13,7%), eflorescência (12,9%), corrosão de armadura (11,8%), cobrimento deficiente (11,1%), deslocamento (7,9), desagregação (0,8%), danos por impacto (0,2%) e sinais de esmagamento (0,1%).

A seguir serão apresentados os mecanismos desses danos mais comuns que foram citados, com exceção dos defeitos causados por incêndio. Estes são mais frequentes em áreas urbanas, ao passo que todas as pontes que foram objeto deste estudo estão situadas em vias rurais.

### 2.3.1 Desgaste superficial do concreto

Trata-se da perda progressiva de massa na superfície do concreto, provocada por processos físicos de abrasão, erosão ou cavitação. A abrasão refere-se ao desgaste provocado pela ação mecânica do atrito seco de materiais sólidos sobre a superfície do concreto, como, por exemplo, o desgaste da pista de rolamento de concreto pela ação do tráfego. A erosão se difere da abrasão pelo fato de que, neste caso, o desgaste ocorre pela ação abrasiva de fluidos contendo partículas sólidas em suspensão, como ocorre, por exemplo, nos blocos de fundação que ficam parcialmente submersos. Já o fenômeno da cavitação está relacionado à perda de massa do concreto pela ação das bolhas de vapor e sua subsequente ruptura devida a mudanças repentinas de direção em águas que fluem em alta velocidade, podendo ocorrer também em estruturas de concreto que ficam submersas (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

### 2.3.2 Deterioração do concreto

A deterioração do concreto é provocada por processos químicos, onde ocorrem reações expansivas e deletérias devido ao ataque da pasta de cimento por águas ou solos contendo sulfatos de sódio, cálcio ou magnésio, ou pela reação expansiva entre os álcalis da pasta de cimento e certos minerais silicosos reativos frequentemente presentes nos agregados, denominada reação álcali-agregado. Também pode ocorrer a deterioração do concreto devido ao fenômeno da lixiviação, que provoca a dissolução do hidróxido de cálcio e outros

compostos do cimento devido à percolação de águas puras, ácidas e carbônicas agressivas através de vazios ou fissuras do concreto, formando eflorescências ou incrustações na superfície (PFEIL, 1983a). Esse fenômeno da lixiviação pode levar a um aumento da porosidade, diminuindo a resistência do concreto e o tornando mais vulnerável a outros ataques (Helene, 2003). De modo geral, os ataques químicos no concreto se manifestam através de efeitos físicos nocivos, como o aumento da porosidade e permeabilidade, diminuição da resistência, fissuração e lascamento. Desta forma, vários processos físicos e químicos da deterioração podem ocorrer ao mesmo tempo (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

### 2.3.3 Biodeterioração do concreto

Trata-se de outro mecanismo de deterioração do concreto, porém, provocada por processos biológicos. Esse mecanismo pode ter origem no crescimento de raízes de plantas ou algas que se desenvolvem em fissuras ou poros do concreto, na ação de fungos ou na ação de sulfetos presentes nos esgotos, resultando em um ataque químico de ácidos gerados por esses organismos que podem danificar o concreto (SOUZA e RIPPER, 1998).

O mecanismo da biodeterioração do concreto ocorre pela interação entre as condições do meio ambiente, a natureza do material utilizado e a comunidade microbológica presente, podendo trazer danos leves (apenas do ponto de vista estético) ou mais severos, como o envelhecimento, desgaste, perda de desempenho ou redução da vida útil do concreto. Os quatro mecanismos de biodeterioração mais comuns são: formação de biofilme, ataque ácido, a complexação e a tensão provocada pela cristalização de sais. O biofilme afeta apenas a estética da obra, o ataque ácido e a complexação resultam na dissolução de compostos do concreto, provocando perda de resistência ou afetando sua durabilidade e a tensão de sais envolve a formação de sais nos poros do concreto, que podem provocar estado de tensão e consequente esfoliação do concreto (SILVA e PINHEIRO, 2005).

### 2.3.4 Falhas de concretagem

As falhas de concretagem são defeitos que tem origem na fase de execução da estrutura de concreto. São causadas por deficiências no transporte, lançamento ou adensamento do concreto, que podem provocar a segregação do concreto (separação do agregado graúdo da

argamassa), a formação de ninhos de concretagem ou de cavidades no concreto ou fuga da nata de cimento por aberturas nas formas (PFEIL, 1983a; SOUZA e RIPPER; 1998).

Além do fator estético, as falhas de concretagem podem propiciar o aparecimento de outros mecanismos de danos, como, por exemplo, a corrosão da armadura devido ao comprometimento da espessura do revestimento.

### 2.3.5 Falhas causadas por colisão

As pontes estão sujeitas a sofrer danos provocados por colisões de veículos nos apoios (por falta de proteção), nos guarda-rodas ou barreiras de segurança ou também colisões verticais, nas lajes e vigas, em situações de gabarito vertical insuficiente (DNIT, 2010).

O impacto sobre os elementos estruturais de uma ponte pode ter diferentes consequências, que variam de acordo com a massa, a deformabilidade e a velocidade do elemento impactante. Podem ocorrer falhas leves, como lascamentos ou rupturas localizadas ou danos severos como a perda de rigidez, de resistência e até mesmo o colapso da estrutura (HELENE, 2003). Mesmo as falhas consideradas leves, caso não sejam tratadas, podem comprometer a segurança do motorista (nos casos de danos aos dispositivos de segurança e sinalização) ou a durabilidade do elemento danificado (nos casos de perda do revestimento e exposição da armadura).

### 2.3.6 Fissuras

A fissura está presente em qualquer estrutura de concreto armado e, por si só, não indica perda de resistência ou de durabilidade. As fissuras são inevitáveis, em função de existência de tensões de tração resultantes do momento fletor, da força cortante, do momento de torção e de restrições à movimentação (DNIT, 2004a). A NBR 6118 (ABNT, 2014), apresenta as exigências relacionadas a valores-limites da abertura das fissuras e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental, com vistas à durabilidade.

As fissuras são também o sintoma mais frequente de outros mecanismos de deterioração. O que determina se a fissura deve ser considerada um problema patológico ou não, é o tamanho de suas aberturas e suas causas.

Segundo Pfeil (1983a), as fissuras visíveis do concreto armado, consideradas prejudiciais, podem ser causadas pela retração do concreto devido à deficiência na cura, efeitos de temperatura (restrições à dilatação) ou por ação de cargas em serviço. As fissuras também podem ocorrer em função de recalques diferenciais ou esmagamento do concreto.

Além da deficiência na cura, as fissuras causadas pela retração do concreto podem ocorrer ainda devido a falhas nas especificações dos materiais ou na dosagem do concreto. De acordo com Mehta & Monteiro (2008), a redução das chances de fissuração devido à retração térmica e à retração por secagem pode ser obtida através diminuição da relação água/cimento pelo uso de um alto consumo de cimento. Neste caso, mantém-se a trabalhabilidade necessária através do controle da distribuição granulométrica dos agregados e do uso de aditivos redutores de água. A combinação da relação água/cimento e do grau de hidratação determina a porosidade da pasta de cimento hidratada e conseqüentemente a resistência e permeabilidade do concreto.

#### 2.3.7 Deformações excessivas

As deformações excessivas referem-se às flechas que ocorrem nas vigas de concreto armado, em dimensões acima do previsto em projeto, provocando a ocorrência de fissuras e podendo comprometer a estabilidade da estrutura. De acordo com Helene (2003), as causas mais comuns para essa deficiência estrutural estão ligadas à ação das cargas externas e podem ter origem na etapa de projeto (omissão de algum carregamento, estimativa incorreta das ações das cargas, deficiência na combinação dos carregamentos, modelagem equivocada da estrutura), na execução da obra (cargas precoces sobre a estrutura, cargas não previstas no projeto, deficiência no transporte e/ou montagem de elementos pré-moldados) ou na etapa de uso da estrutura (cargas não previstas ou superiores às de projeto, mudança de uso implicando sobrecargas maiores).

#### 2.3.8 Recalque de apoio

Toda estrutura está sujeita a deslocamentos verticais, seja durante a obra ou até mesmo durante certo tempo após sua conclusão, até que se atinja um equilíbrio entre o carregamento aplicado e a interação com o solo. Quando todos os apoios de uma ponte apresentam os mesmos deslocamentos verticais, geralmente não há um comprometimento estrutural. Porém,

se por alguma falha de projeto, ocorrem recalques diferenciais, podem surgir trincas e comprometer a resistência e a durabilidade da estrutura (SOUZA e RIPPER; 1998).

#### 2.3.9 Esmagamento do concreto

O esmagamento do concreto é ocasionado basicamente pela concentração de tensões de compressão acima do previsto em determinado elemento estrutural. Essa concentração de tensões geralmente é provocada por carregamento adicional, falha nos aparelhos de apoio ou movimentação da estrutura não prevista, que reduz a superfície de contato entre os elementos da estrutura (VERLY, 2015). Esses danos se manifestam através do deslocamento do concreto na região onde ocorre a concentração dos esforços de compressão.

#### 2.3.10 Corrosão de armaduras

A corrosão de armaduras é um processo eletroquímico, que ocorre devido à perda da camada passivadora que protege as armaduras. Essa perda da proteção pode ocorrer devido ao ataque por cloretos ou pela redução do pH do concreto, em consequência de outros fenômenos como a carbonatação, lixiviação ou ataque de sulfatos (HELENE, 2003).

Esse é um dos principais danos que ocorrem nas estruturas de concreto armado e manifesta-se facilmente através de manchas superficiais provenientes dos produtos de corrosão, fissuras no concreto, destacamento do concreto de cobertura, redução das seções de armadura e até rompimento dessas armaduras (DNIT, 2004a).

## 2.4 Intervenções em pontes de concreto armado

A norma DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b) apresenta a definição dos três tipos de intervenções que são realizadas em pontes que apresentam algum tipo de dano ou que necessitam ser modificadas, diferenciando-se pela sua finalidade: recuperação, reforço e reabilitação.

A recuperação é o conjunto de ações ou de obras desenvolvidas para eliminar defeitos e reduzir a velocidade de degradação da ponte, impactando positivamente em sua vida útil. Essas atividades visam restabelecer as características de projeto ou anteriormente existentes.

O reforço trata-se de um conjunto de obras, com acréscimo ou substituição de elementos estruturais, que visa devolver à ponte condições próximas das iniciais, ou até mesmo fornecer uma melhoria na capacidade de carga. O reforço visa aumentar a resistência de um determinado elemento estrutural contra um mecanismo de dano.

Finalmente, a reabilitação é definida como o conjunto de intervenções que, além de recuperar e reforçar a ponte, prevê outras melhorias para atender a novas condições de funcionamento, tais como aumento da capacidade de carga, alargamento, passeios laterais e barreiras de segurança.

Além dessas intervenções, as atividades de manutenção exercem um papel fundamental para a durabilidade das pontes. A manutenção rotineira contempla a realização de serviços preventivos tais como limpeza e proteção anticorrosiva e também pequenos serviços corretivos, como recuperação de dispositivos de drenagem, de segurança e de sinalização, reparos em pequenas áreas degradadas de concreto, entre outras (DNIT, 2010).

## **2.5 Procedimentos de recuperação em pontes de concreto armado**

Os procedimentos de recuperação têm como objetivo restabelecer as características de projeto da estrutura, corrigir vícios de construção e contribuir para a durabilidade da mesma, por meio da substituição ou reparo de materiais, componentes ou elementos que apresentam problemas patológicos (HELENE, 2003).

Antes da execução das atividades de recuperação em uma ponte, é necessário conhecer as anomalias através da inspeção, obter um diagnóstico e então definir as medidas terapêuticas mais adequadas para a correção desses problemas (DNIT, 2010).

### 2.5.1 Limpeza superficial do concreto

Inicialmente, deve-se obter o diagnóstico referente às manchas existentes no concreto e eliminar as causas do seu surgimento, para em seguida realizar a limpeza. O preparo e a limpeza da superfície do concreto são fundamentais para a garantia da qualidade do reparo. Esses procedimentos devem ser realizados de forma cuidadosa, utilizando-se materiais e equipamentos apropriados para cada situação (HELENE, 2003).

A limpeza superficial do concreto poderá ser executada com o uso de escovas de aço, lixas manuais ou mecânicas e jatos de ar ou de água, dependendo da sua área. Poderá também ser utilizada uma solução levemente acidulada, dependendo da porosidade do concreto (DNIT, 2010).

### 2.5.2 Remoção e substituição de concreto

Quando ocorre uma deterioração do concreto, o mesmo deve ser removido até que se atinja uma camada que esteja em boas condições. Essa remoção pode ser superficial, quando não alcança a armadura, ou profunda, quando atinge ou vai além dela. Qualquer remoção deverá ocorrer apenas após verificação da estabilidade do elemento estrutural ou da obra, diante desta intervenção (DNIT, 2010).

A remoção do concreto danificado poderá ser realizada por meio mecânico, térmico ou químico, dependendo das condições de acessibilidade e volume a ser removido. Os métodos mecânicos são os mais utilizados, tais como rompedores, ponteiros ou cinzéis, remoção por jateamento de material abrasivo ou remoção por jato de água de alta pressão (DNIT, 2010). É importante que sejam eliminadas todas as impurezas que possam prejudicar a aderência do material de reparo. Para garantir esta aderência, em toda a superfície onde haverá a aplicação de material de reparo sobre o concreto velho, deverá ser executado o apicoamento, que consiste na retirada da camada superficial de concreto, deixando o substrato suficientemente áspero. O apicoamento pode ser executado por meio de processos mecânicos ou de forma manual, sendo o primeiro geralmente adotado em casos de grandes áreas a serem tratadas. Após a execução desses trabalhos, deve ser realizada a limpeza do substrato através da aplicação de jatos de ar e/ou de água (SOUZA e RIPPER, 1998).

Souza e Ripper (1998) recomenda ainda a saturação da superfície antes da aplicação do novo material cimentício, visando garantir uma melhor aderência. Essa saturação será obtida por meio da imersão total da superfície a ser tratada por um período médio de 12 horas. Para superfícies horizontais, a saturação pode ser conseguida com a construção de barreiras provisórias ou com a utilização de mangueira com vazão contínua. Em superfícies verticais, a saturação pode ser realizada com o auxílio de sacos de aniagem ou mangueiras perfuradas. Instantes antes da aplicação do novo material cimentício, o substrato deve estar úmido, mas necessariamente com a superfície seca.

O concreto removido poderá ser substituído por um concreto novo, argamassa cimentícia, grout, etc. A escolha do novo material a ser incorporado na estrutura dependerá do volume do concreto a ser substituído, da profundidade do reparo, dos efeitos de cargas sobre o reparo e das condições de acesso e trabalhabilidade do local de reparo, devendo ser mantidas também as propriedades do concreto da estrutura existente, tais como resistência, módulo de elasticidade, fluência, etc. (DNIT, 2010).

### 2.5.3 Remoção da corrosão

Nas pontes rodoviárias os processos de corrosão normalmente ocorrem em armaduras de concreto armado, em cabos de protensão, ancoragens, aparelhos de apoio metálicos, guarda-corpos metálicos e outros elementos compostos por metais. A remoção pode ser feita com o uso de escovas de aço, lixas manuais ou mecânicas ou jateamento de material abrasivo. Deverá ser removido todo material corroído, incluindo a camada de concreto contaminada (DNIT, 2010).

Quando a armadura apresentar perda de seção importante (>10%) deverá ser feita a complementação desta armadura, com a devida ancoragem (DNIT, 2010). Para o caso de redução de seção inferior a 10%, deve-se realizar uma proteção contra corrosão, através da aplicação de argamassa de alto teor de cimento, grout ou argamassa epoxídica.

### 2.5.4 Tratamento de falhas de concretagem ou desagregações

Inicialmente remove-se o concreto deteriorado conforme descrito anteriormente, seguido pelo preparo da superfície, mantendo-a livre de impurezas, saturada e com aspereza suficiente para

possibilitar a aderência do novo material. Esses locais de reparo podem ser preenchidos com grout de cimento Portland, argamassa de cimento, argamassa epoxídica, argamassa polimérica ou concreto projetado, sendo este último indicado para os casos de aplicação em faces inferiores ou laterais dos elementos (DNIT, 2010).

#### 2.5.5 Tratamento das trincas e fissuras

Antes do tratamento dessas manifestações patológicas, é fundamental a identificação e eliminação de suas causas, evitando-se desta forma o seu reaparecimento.

Para o tratamento das fissuras mortas ou inativas (aquelas que não apresentam alteração em suas aberturas ou extensões ao longo do tempo), recomenda-se apenas seu preenchimento visando impedir a penetração de águas superficiais, que podem provocar outros problemas patológicos. A superfície e o interior da fissura deverão ser limpos e a mesma poderá ou não necessitar ser alargada em forma de “V”, para o posterior preenchimento. Esse preenchimento pode ser feito com argamassa de cimento e areia ou resina epoxídica (DNIT, 2010).

O preenchimento das fissuras inativas poderá ocorrer também através da injeção, cujo método consiste em injetar, através de bicos fixados na superfície ao longo da fissura, um material adesivo de baixa viscosidade, que depois de endurecido permitirá a recuperação das propriedades da estrutura. Os materiais mais usados neste método são as resinas epoxídicas e os metacrilatos (HELENE, 2003).

O tratamento das fissuras vivas ou ativas (aquelas que estão sujeitas a movimentações) é feito através do seu preenchimento com materiais selantes com comportamento elástico, cujos mais usados são os compostos à base de betume, os poliuretanos simples e modificados. Para as fissuras ativas de pequena abertura (aproximadamente  $\leq 0,8$  mm), recomenda-se o preenchimento através do método de injeção de resina epoxídica. As aberturas inferiores a 0,3 mm estão dentro dos limites aceitáveis pela norma NBR 6118 (ABNT, 2014) e, portanto, não necessitam reparos. Já as fissuras de grande abertura, o tratamento se inicia com a abertura de uma cavidade ao longo da fissura, que será preenchida com um selante elástico adequado, devendo este reparo antecipar seus prováveis aumentos de dimensão. Os selantes mais utilizados são os mastiques, os termoplásticos e os elastômeros (DNIT, 2010).

### 2.5.6 Aplicação de revestimentos protetores

Trata-se de um procedimento preventivo, que tem por finalidade a formação de uma barreira impermeabilizante na superfície do concreto reconstituído, impedindo a penetração de água e cloretos nos poros do concreto. Os revestimentos protetores mais utilizados são as tintas e as membranas hidrofugantes (DNIT, 2010).

As tintas têm por finalidade preencher os vazios da superfície e formar um filme protetor, podendo ser aplicadas em uma ou duas camadas, dependendo da qualidade de acabamento da superfície do concreto. Quanto à sua composição, as tintas podem ser oleosas, à base de látex, à base de epóxi ou à base de uretanos. As membranas hidrofugantes têm por finalidade formar uma barreira contra a água e cloretos. Essa barreira tem forte adesão ao concreto e possui grande resistência à abrasão do tráfego e às intempéries.

## 2.6 Procedimentos de alargamento em pontes de concreto armado

Os alargamentos em pontes de concreto armado podem ser incorporados à estrutura existente ou ser estruturalmente independentes, com uso de junta longitudinal. Os procedimentos de alargamento podem ou não contemplar o reforço da estrutura existente, dependendo da sua classe e da sua condição estrutural. Recomenda-se priorizar a adequação do trem-tipo para a classe 45 e a incorporação dos alargamentos à estrutura existente (DER/SP, 2006).

De acordo com Vitório (2017), os principais métodos de alargamento dos tabuleiros das pontes antigas são: alargamento com concreto armado convencional, alargamento com protensão externa, alargamento com vigas pré-moldadas e alargamento com vigas mistas. A escolha do método mais adequado dependerá dos estudos de cada caso específico, levando-se em consideração fatores como tipologia estrutural da ponte, características de resistência dos materiais e condições das fundações, que permitirão uma análise comparativa dos desempenhos estruturais, funcionais e de custos das possíveis soluções. A Figura 2.2 mostra um exemplo de uma seção transversal de uma ponte que foi alargada com a utilização de concreto armado convencional e reforçada com concreto projetado.

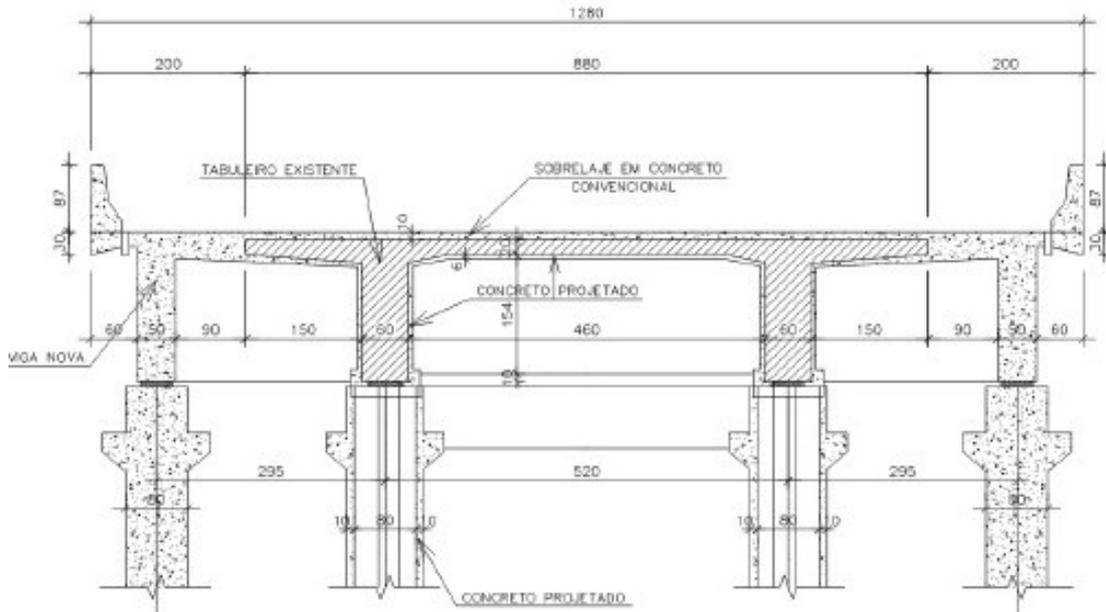


Figura 2.2: Seção transversal de uma ponte que foi alargada com a utilização de concreto convencional. (Fonte: Vitório, 2013)

### 2.6.1 Alargamento com concreto armado convencional

Trata-se do método construtivo mais utilizado, sobretudo nas pontes de pequeno porte, que são a maioria entre as pontes da malha rodoviária federal. Este método consiste no alargamento do tabuleiro através da inclusão de novas vigas e lajes, formando uma nova grelha juntamente com o tabuleiro original. Os trechos alargados são apoiados em novos pilares e nova fundação, de modo que nem sempre haverá a necessidade de reforço da estrutura existente (VITÓRIO, 2013).

### 2.6.2 Alargamento com protensão externa

Este método consiste no alargamento da seção transversal da ponte através do aumento das larguras das lajes existentes, sem a adição de novos apoios e de novas vigas ao tabuleiro. Para isso, se faz necessário o reforço das longarinas existentes através da aplicação de protensão externa e também a utilização de protensão transversal na parte superior do tabuleiro, visando evitar grandes deformações devido aos acréscimos dos balanços laterais das lajes (VITÓRIO, 2013).

De acordo com Vitório (2017), o efeito da protensão externa além de aumentar a capacidade de carga das vigas principais e da laje do tabuleiro, diminui a fissuração existente, elimina as deformações e melhora a resistência ao cisalhamento.

### 2.6.3 Alargamento com vigas pré-moldadas

O sistema construtivo de alargamento utilizando vigas pré-moldadas consiste no emprego de elementos compostos, cujas seções resistentes são constituídas por elementos pré-moldados de seção parcial, complementadas com concreto moldado no local. Neste caso, os trechos alargados também são apoiados em novos pilares e nova fundação. Este método, embora menos utilizado, assemelha-se ao alargamento com concreto convencional, sendo a única diferença o fato de se utilizar vigas e pré-lajes pré-moldadas de concreto (VITÓRIO, 2013).

### 2.6.4 Alargamento com vigas mistas

Este método baseia-se no alargamento com utilização de longarinas metálicas, unidas à estrutura de concreto por meio de conectores metálicos. A nova laje é concretada no local, unida à laje existente por meio de conectores metálicos e os trechos alargados também recebem novos apoios (VITÓRIO, 2013).

## 2.7 Procedimentos de reforço em pontes de concreto armado

Os principais fatores que podem levar à necessidade de reforço em uma estrutura de concreto são: correção de falhas de projeto ou execução, aumento da capacidade portante da estrutura para permitir novas utilizações ou regeneração da capacidade comprometida por algum tipo de acidente (colisão, incêndio, etc.) ou por algum mecanismo de deterioração da estrutura (SOUZA e RIPPER, 1998).

O projeto de reforço estrutural deve adotar a técnica mais adequada, observando todos os aspectos pertinentes, tais como o diagnóstico estrutural, condicionantes arquitetônicas e operacionais, requisitos estruturais, custo, prazo, etc., a fim de se alcançar o objetivo desejado (HELENE, 2003).

As técnicas de reforço mais utilizadas se baseiam em aumento de seção, uso de compósitos, redução ou limitação de esforços, protensão, grauteamento e incorporação de novos elementos. A seguir, são apresentadas as técnicas mais utilizadas em obras de reforço de

pontes em concreto armado, para cada elemento da estrutura. A Figura 2.3 mostra um exemplo de reforço de uma longarina, através da incorporação de chapas metálicas e aumento de seção.

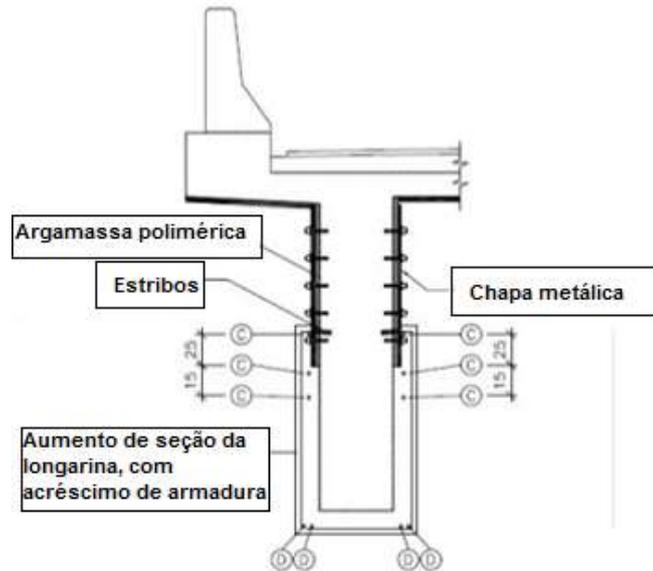


Figura 2.3: Seção transversal de uma longarina reforçada com chapas metálicas e aumento da seção. Fonte: Projeto de Reforço Estrutural da Ponte sobre o Rio Gualaxo (DER, 2014).

### 2.7.1 Aumento da capacidade de elementos da superestrutura

Para o caso de tabuleiros compostos por vigas e lajes, o reforço da superestrutura pode ser realizado através de cabos de protensão externa nas vigas, adição de suportes elásticos, incorporação de chapas metálicas, colagem de compósitos, aumento da seção transversal das peças (engrossamento das longarinas, transversinas e adição de sobrelaje) e introdução de vigas adicionais entre as vigas existentes (DER/SP, 2006). O método da colagem de chapas metálicas, embora seja uma técnica simples em termos de concepção, exige bastante rigor durante a execução e um cuidadoso procedimento de cálculo (SOUZA e RIPPER, 1998).

Para os tabuleiros compostos por vigas de seção caixão, o reforço da superestrutura geralmente é realizado por meio de cabos de protensão externa a serem instalados dentro dos caixões. Pode ser feita ainda a implantação de cabos estaiados ou incorporação de chapas metálicas, embora esses dois últimos métodos sejam pouco utilizados devido a suas limitações para esse tipo de estrutura (DER/SP, 2006).

Nos tabuleiros compostos por lajes vazadas moldadas no local, o reforço com adição de protensão é de difícil execução, devido a suas características geométricas. A alternativa para a realização de reforço é a instalação de cabos de protensão externa em sua face inferior, mas existe o problema da sua vulnerabilidade a danos provocados por colisões em casos de viadutos sobre outras vias (DER/SP, 2006).

Já no caso dos tabuleiros compostos por lajes maciças, os métodos de reforço mais utilizados são: colagem de materiais compósitos, incorporação de chapas metálicas, adição de armadura passiva e protensão (DER/SP, 2006).

### 2.7.2 Aumento da capacidade de elementos da mesoestrutura

O reforço dos pilares poderá ser realizado através de dois métodos: aumento da seção transversal ou cintamento (DER/SP, 2006).

O reforço através do aumento da seção é o mais utilizado, por possuir vantagens econômicas em relação a outros métodos; porém, possui o inconveniente de produzir elementos com dimensões muito superiores às previstas no projeto original, que poderá limitar a vazão de cursos de água ou reduzir largura de segurança no caso de viadutos sobre outras vias (DER/SP, 2006).

Já o método de reforço com cintamento, pode reduzir esses efeitos indesejados, pois são alcançados aumentos de resistência com pequeno aumento das seções dos pilares. Esse resultado é obtido através do confinamento do pilar existente, que devido à presença de pressões transversais ao eixo longitudinal do pilar ou pressões laterais, há um aumento da sua capacidade resistente. Esse efeito pode ser obtido de forma ativa por meio de protensão transversal ou através da implantação de materiais expansivos confinados; ou, de forma passiva, através de armaduras, chapas de aço ou camisas de compósitos coladas, que restringem a expansão lateral do concreto (DER/SP, 2006).

### 2.7.3 Aumento da capacidade de elementos da infraestrutura

A escolha do método de reforço dos elementos da infraestrutura depende das especificidades da obra, tais como tipo do solo, urgência da intervenção, fundações existentes, nível de

carregamento e espaço físico disponível. O reforço pode ser realizado através de enrijecimento da estrutura; aumento da área de apoio; adição de sapatas, tubulões e estacas; e melhoria nas condições do solo (DER/SP, 2006).

O enrijecimento da estrutura é adotado nos casos em que se pretende reduzir os efeitos de recalques diferenciais que estejam ocorrendo, através da implantação de vigas de rigidez interligando as fundações.

O aumento da área de apoio se aplica aos casos em que a fundação é composta por sapatas ou tubulões, cuja transferência de esforços para o solo ocorre basicamente pela superfície horizontal de contato.

A adição de sapatas, tubulões ou estacas tem como objetivo reduzir o carregamento da fundação original, distribuindo-o para os novos elementos estruturais. Devido à dificuldade de acesso aos locais das fundações das pontes, o método mais adotado é a adição de estacas injetadas do tipo raiz, que são executadas por perfuração com circulação de água, utilizando equipamentos de pequenas dimensões e de fácil locomoção. Essas estacas são executadas com diâmetros que variam de 80 a 410 mm e são constituídas por argamassa de areia e cimento e armaduras ao longo de todo seu comprimento. Possuem elevada tensão de trabalho no fuste e por isso apresentam alta capacidade de carga em relação ao seu diâmetro (DER/SP, 2006).

Existe ainda o reforço da fundação através de melhoria nas condições do solo, onde se alcançam os resultados desejados através do aumento da resistência e compressibilidade do solo de suporte das fundações. Este ganho é obtido por meio da injeção de nata de cimento ou gel sob altas pressões tais como o “*Jet grouting*” e “*CCP (cement Churning Pile)*” ou adição de geogrelhas.

## **2.8 Inspeção e avaliação de OAEs**

A norma DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b) define inspeção de pontes como “atividade técnica especializada que abrange a coleta de elementos, de projeto e de construção, o exame minucioso da ponte, a elaboração de relatórios, a avaliação do estado da obra e as

recomendações, que podem ser de nova vistoria, de obras de manutenção, de obras de recuperação, de reforço ou de reabilitação”. Esses dados obtidos por meio das inspeções irão subsidiar as ações de conservação das pontes, que têm como objetivo a manutenção de suas características resistentes, funcionais e estéticas para as quais foram projetadas e construídas (VITÓRIO, 2002).

Durante as atividades de inspeção de pontes deverá ser observada a existência de danos ou anormalidades nos seguintes aspectos: geometria e condições viárias, acessos, cursos d’água, encontros e fundações, apoios intermediários, aparelhos de apoio, superestrutura, pista de rolamento, juntas de dilatação, barreiras de segurança e guarda-corpo, sinalização e instalações de utilidade pública (DNIT, 2004b).

De acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), existem três requisitos para a qualidade de uma estrutura de concreto: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade. A capacidade resistente refere-se à segurança contra a ruptura, o desempenho consiste na capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização durante sua vida útil e durabilidade consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas.

Tendo como base os dados obtidos nas inspeções, são geradas notas técnicas, que irão alimentar o sistema de gestão de obras de artes especiais e irão subsidiar a tomada de decisão quanto às prioridades das intervenções. Existem diversas metodologias de avaliação de OAEs, que apresentam vantagens e desvantagens.

Giovannetti (2014) comparou a metodologia de avaliação atualmente utilizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT e a do Instituto ZAG da Eslovênia. Nesta comparação, concluiu-se que o método esloveno possui a vantagem de considerar em sua nota final o somatório de todos os defeitos, gerando resultados mais escalonados e menos dependente da avaliação subjetiva do inspetor; mas esse resultado final mostrou-se errôneo em relação à condição real da ponte, devido a esta soma de pequenos defeitos. Já o método do DNIT, embora dependa de uma maior qualificação do inspetor e não forneça notas técnicas escalonadas, apresentou um resultado muito mais próximo do real estado da ponte. Essa mesma constatação foi feita por Vieira et al. (2016), que também compararam esses dois métodos, além do método desenvolvido por Klein et al. (1991), da

UFRGS, que se assemelha ao esloveno ao trazer um detalhamento maior dos danos, mas conduz a um resultado mais fiel de avaliação da ponte.

Em outra pesquisa realizada por Verly (2015), foi comparada a metodologia adotada pelo DNIT e a metodologia GDE/UnB, desenvolvida no programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília - UnB. Nesse trabalho, concluiu-se que ambas as metodologias geraram resultados que retratam o estado real de conservação das pontes; porém, a metodologia GDE/UnB mostrou-se mais adequada por produzir notas técnicas mais escalonadas, ideais para alimentação do sistema de gestão de obras de arte especiais.

Para a realização de uma inspeção completa, confiável e com segurança, é fundamental que haja um planejamento e uma programação adequada, que deverão abordar os seguintes aspectos: o motivo da inspeção, o tipo de inspeção, o dimensionamento da equipe, os equipamentos e as ferramentas que serão necessários, a existência de projetos e de relatórios de inspeções anteriores e o período do ano mais favorável à inspeção (DNIT, 2004b).

### 2.8.1 Tipos de inspeção

De acordo com a norma NBR 9452 (ABNT, 2016) as inspeções são classificadas em quatro tipos: cadastral, rotineira, especial e extraordinária. O manual de inspeções de pontes rodoviárias do DNIT acrescenta ainda outro tipo de inspeção denominada inspeção intermediária (DNIT, 2004a).

A inspeção cadastral trata-se da primeira inspeção da obra, que deve ser realizada imediatamente após sua conclusão ou quando da sua incorporação ao sistema viário. Também deverá ser realizada a inspeção cadastral após intervenções que alterem a configuração original da ponte, tais como obras de reforço ou reabilitação. Farão parte da documentação desta vistoria, amplo relatório fotográfico, ficha cadastral e todos os informes construtivos tais como projetos, ensaios, diários de obra, etc. (DNIT, 2004a). A norma NBR 9452 (ABNT, 2016) exige ainda que a ponte seja avaliada e classificada durante a inspeção cadastral.

A inspeção rotineira é uma inspeção programada, com intervalos regulares, que tem por objetivo identificar o surgimento de novas anomalias ou qualquer alteração em relação às inspeções anteriores. Esse intervalo será definido durante a inspeção cadastral e poderá variar

de um a dois anos, dependendo das particularidades de cada obra (DNIT, 2004a). Já a norma NBR-9452 (ABNT, 2016) determina que essas inspeções sejam realizadas em prazo não superior a um ano. As inspeções rotineiras são realizadas de forma visual, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso aos diversos elementos da ponte. Equipamentos especiais somente serão utilizados se constituírem o único meio de inspecionar os trechos de interesse. Estas inspeções serão registradas através de documentação fotográfica e ficha de inspeção rotineira.

A norma NBR 9452 (ABNT, 2016) define a inspeção especial como uma vistoria pormenorizada, que deverá contemplar um mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da ponte, com o intuito de formular o diagnóstico e o prognóstico da estrutura. A vistoria pode ser visual e/ou instrumental e deve ser realizada por engenheiro especialista. Este tipo de inspeção deve ter uma periodicidade de cinco anos, podendo ser postergada para até oito anos caso a ponte tenha sido classificada como condição boa ou excelente e possua total acesso a todos os seus elementos constituintes em inspeções rotineiras. Esta deverá ser antecipada sempre que as pontes foram classificadas como condição ruim ou crítica nos parâmetros de desempenho estrutural e de durabilidade ou quando forem previstas adequações de grande porte, tais como reforço e reabilitação.

A inspeção extraordinária é um tipo de inspeção não programada, que deve ser realizada quando ocorre algum tipo de dano estrutural repentino, provocados pelo homem ou pelo meio ambiente. Essas inspeções são realizadas por profissionais capazes de avaliar a gravidade dos danos, com autoridade para limitar as cargas de tráfego, interromper ou reestabelecer o tráfego sobre a ponte e, quando necessário, solicitar uma inspeção especial (DNIT, 2004a).

A inspeção intermediária é recomendada quando há a necessidade de monitoramento de uma anormalidade já detectada ou em fase de diagnóstico, tal como um pequeno recalque de fundação, erosões, estado de um determinado elemento estrutural, etc. Ocorrerá sempre quando for recomendada em inspeções anteriores (DNIT, 2004b).

## 2.8.2 Profissionais de inspeção

As inspeções cadastral, rotineira e intermediária geralmente são realizadas por inspetores auxiliados por técnicos. Já as inspeções extraordinária e especial, devem ser feitas por

inspetores seniores, auxiliados quando necessário, por consultores e auxiliares técnicos (DNIT, 2004a).

Para atuar como inspetor, o profissional deverá ter formação em engenharia, com registro no CREA e comprovar experiência mínima de cinco anos em projeto e inspeção de pontes. Para o caso de inspetor sênior, a experiência exigida é de no mínimo cinco anos em projeto, execução e restauração de pontes e mínimo de dez anos em inspeção de pontes. Já os auxiliares técnicos deverão possuir ensino médio completo, além de demonstrar aptidões específicas para o desempenho desta função.

### 2.8.3 Equipamentos de inspeção e práticas de segurança

Nas inspeções geralmente são utilizados os chamados equipamentos comuns, que são as ferramentas para atividades de limpeza, inspeção, melhoria de visão, medição e registro, além de equipamentos complementares, como estojo de primeiros socorros, repelentes e materiais de higiene pessoal. Existem também equipamentos considerados especiais, utilizados geralmente em inspeções não rotineiras e em obras de grande porte, tais como equipamentos de levantamento topográfico, ensaios não-destrutivos, inspeção submersa, e equipamentos de jateamento de ar, água ou material abrasivo (DNIT, 2004a).

Para garantir um acesso seguro do inspetor a determinados locais da estrutura, são utilizados também os equipamentos de acesso tais como escadas, andaimes apoiados ou suspensos, plataformas apoiadas em torres tubulares, barcos ou balsas, além de veículos de acesso como “Munck”, que dispõem de braços articulados e cestas.

Devem ser observados critérios mínimos de segurança, atentando-se para o uso de acessórios de proteção individual como capacete e colete refletivo, a utilização de vestimenta adequada, incluindo botas de couro com solado antiderrapante, calças resistentes que permitam livre movimentação, cinto especial para acomodação de pequenas ferramentas e bloco de notas, camisas de manga comprida, resistentes e com bolsos. Existem ainda os acessórios eventuais, como colete salva-vidas, cinto de segurança, luvas e máscaras (DNIT, 2004a).

#### 2.8.4 Critério de avaliação adotado pelo DNIT

A metodologia adotada pelo DNIT prevê a atribuição de uma nota de avaliação para cada elemento componente de uma ponte, variando de 1 a 5, de acordo com a gravidade dos problemas identificados no elemento. O Quadro 2.2 mostra um resumo dos critérios que são utilizados para atribuição das notas técnicas.

Quadro 2.2: Critérios para atribuição de notas técnicas. Fonte: Adaptado de DNIT, 2004a.

<b>Nota</b>	<b>Danos no elemento/ insuficiência estrutural</b>	<b>Ação Corretiva</b>	<b>Condição de estabilidade</b>	<b>Classificação das condições da ponte</b>
<b>5</b>	Não há danos nem insuficiência estrutural.	Nada a fazer.	Boa	Obra sem problemas
<b>4</b>	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
<b>3</b>	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	A recuperação da obra pode ser postergada. Colocar o problema em observação sistemática.	Boa aparentemente	Obra potencialmente problemática
<b>2</b>	Há danos, gerando significativa insuficiência estrutural, porém ainda não há, aparentemente, risco tangível de colapso da estrutura.	A intervenção deve ser feita no curto prazo.	Sofrível	Obra problemática
<b>1</b>	Há danos gerando grave insuficiência na ponte; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso estrutural.	A intervenção ou substituição da obra deve ser feito sem tardar.	Precária	Obra crítica

Seguindo esse critério, todos os elementos da ponte recebem uma nota técnica em função dos danos identificados durante a inspeção rotineira. A avaliação global da ponte é realizada com base nas notas recebidas individualmente por seus elementos, sendo que a sua nota final irá corresponder à menor nota técnica recebida pelos seus elementos que possuem função estrutural (DNIT, 2004a).

### 2.8.5 Critério de avaliação segundo a norma ABNT NBR 9452:2016

De acordo com a norma NBR-9452 (ABNT, 2016), as pontes devem ser classificadas segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. Cada elemento da ponte é vistoriado e atribui-se uma nota de avaliação que varia de 1 a 5, refletindo a maior ou a menor gravidade dos problemas detectados. As correlações entre as notas técnicas atribuídas, a condição da ponte e a caracterização dos problemas detectados, para cada parâmetro de desempenho, são mostrados no Quadro 2.3.

Quadro 2.3: Correlação entre notas técnicas, condição da ponte e caracterização dos problemas detectados. Fonte: Adaptado de ABNT, 2016.

Nota de Classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	Estrutura em condições satisfatórias, com danos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	OAE em perfeitas condições. Recomenda-se apenas manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e que não comprometem a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	OAE com pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias em médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	OAE com pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou OAE com moderadas a muitas anomalias, em região de baixa agressividade ambiental.

2	Ruim	Há danos que comprometem sua segurança estrutural, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções em curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE, com risco tangível de colapso. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego e escoramento.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

Da mesma forma que a metodologia de avaliação do DNIT, todos os elementos da ponte recebem uma nota técnica em função dos danos identificados e a classificação final será a menor nota técnica atribuída a esses elementos. Nesta metodologia, porém, os componentes estruturais serão classificados de acordo com os três parâmetros de avaliação e a nota final da ponte será composta por três notas técnicas, sendo uma para cada parâmetro (estrutural, funcional e de durabilidade).

A norma NBR-9452 (ABNT, 2016) apresentou ainda quadros referenciais onde foram listados os danos mais comuns que ocorrem nas obras de arte especiais, suas respectivas classificações em função da sua extensão e gravidade, para cada um dos parâmetros de avaliação. Essas referências facilitam a padronização das atividades de inspeção e desta forma contribuem para diminuição do caráter subjetivo inerente a esta atividade.

#### 2.8.6 Critério de avaliação desenvolvido na UnB

A metodologia GDE/UnB, desenvolvida no programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – UnB, consiste na determinação de uma nota

que expressa o grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ). O Quadro 2.4 apresenta a classificação do nível de deterioração da ponte de acordo com a nota técnica calculada e as ações recomendadas para cada situação.

Quadro 2.4: Classificação dos níveis de deterioração da estrutura e ações recomendadas.  
Fonte: Verly, 2015.

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

De acordo com esta metodologia, todos os danos existentes na ponte deverão ser identificados durante as atividades de inspeção e para cada dano calcula-se o grau do dano ( $D$ ), conforme Eqs. (2.1) e (2.2).

$$D = 0,8 F_i F_p \quad \text{para } F_i \leq 2,0 \quad (2.1)$$

$$D = (12F_i - 28)F_p \quad \text{para } F_i > 2,0 \quad (2.2)$$

Onde:

$F_i$  = Fator de intensidade;

$F_p$  = Fator de ponderação.

O fator de intensidade ( $F_i$ ) classifica a gravidade e a evolução de uma manifestação patológica em um determinado elemento, em uma escala de 0 a 4. O fator de ponderação ( $F_p$ ) visa quantificar a importância relativa de um determinado dano para o elemento onde este incide, em escala que varia de 1 a 5. A metodologia GDE-UnB fornece tabelas com valores pré-definidos de  $F_i$  e  $F_p$  para os danos mais frequentes que ocorrem nos diversos elementos

das pontes, com a identificação do nível de gravidade das lesões e a descrição sucinta da intensidade das manifestações.

Após o cálculo de todos os graus de dano ( $D$ ), determina-se o grau de deterioração de cada elemento ( $G_{de}$ ), conforme Eq. (2.3).

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \left[ 1 + \frac{(\sum_{i=1}^n D_i) - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^n D_i} \right] \quad (2.3)$$

Onde:

$D_i$  = Grau do dano de índice “i”;

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

$n$  = Número de danos encontrados no elemento.

Os elementos são agrupados em famílias, de acordo com suas características estruturais e então se calcula o grau de deterioração de cada família ( $G_{df}$ ), de acordo com Eq. (2.4).

$$G_{df} = G_{de,m\acute{a}x} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{de,i}) - G_{de,m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}}} \quad (2.4)$$

Onde:

$G_{de,m\acute{a}x}$  = Maior grau deterioração encontrado na família de elementos;

$G_{de,i}$  = Graus de deterioração apresentados pelos elementos da família;

$m$  = Número de elementos da família.

Finalmente, calcula-se o grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ), que representa o nível de deterioração da estrutura como um todo. Este índice é calculado por meio da Eq. (2.5), que considera os graus de deterioração de cada família de elementos, ponderados pelos respectivos fatores de relevância estrutural ( $F_r$ ). O método GDE-UnB fornece os fatores de relevância estrutural a serem adotados para cada família de elementos.

$$G_d = \frac{K_{m\acute{a}x}}{7,07} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^k K_i) - K_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^k K_i}} \quad (2.5)$$

Onde:

$k$  = Número de famílias da estrutura;

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

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

# 3

## METODOLOGIA

Este trabalho propõe uma avaliação de desempenho das intervenções de recuperação, alargamento e reforço empregadas em pontes que foram reabilitadas para atendimento às novas exigências de rodovias que passaram por obras de duplicação, comparando o seu desempenho com as respectivas pontes construídas ao lado das mesmas, visto que ambas estão inseridas no mesmo microclima, sob as mesmas características de tráfego e possuem vãos e sistemas estruturais semelhantes. O estudo de caso proposto pode ser dividido em cinco etapas, conforme mostrado na Figura 3.1.

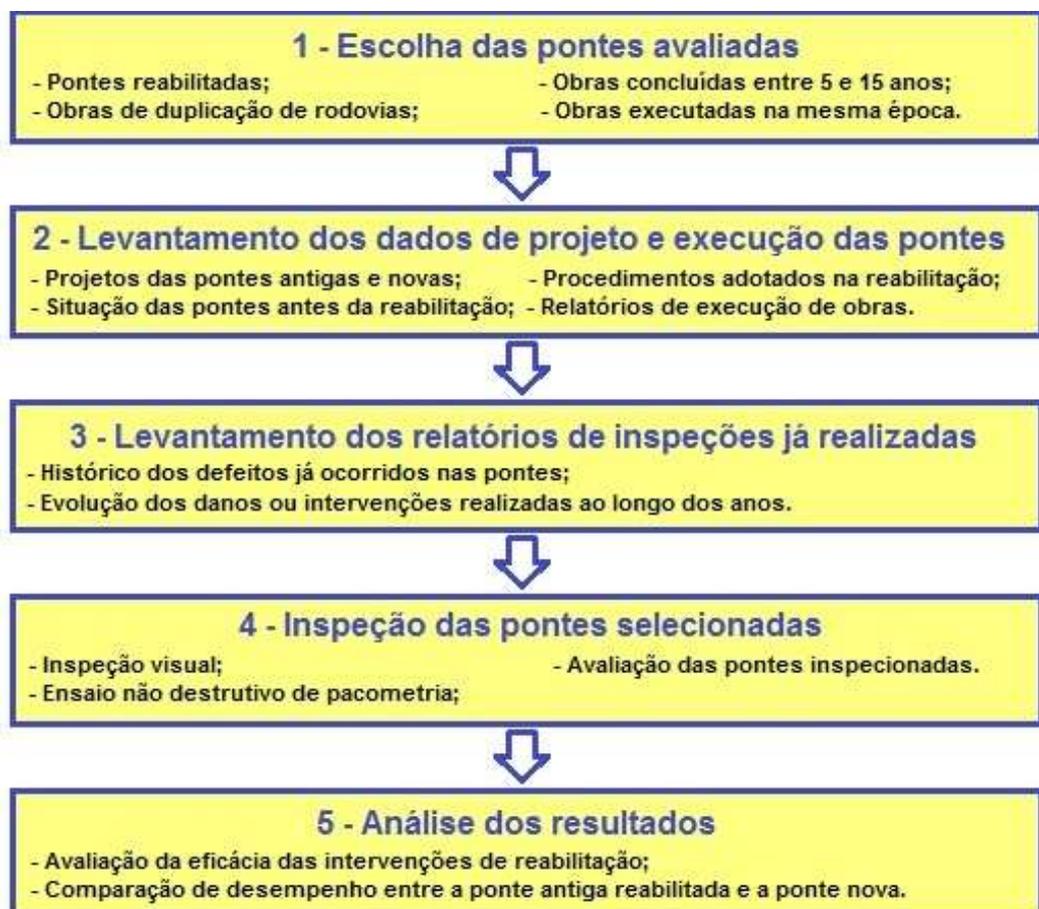


Figura 3.1: Etapas do estudo de caso proposto.

### 3.1 Procedimentos

Para esta pesquisa, buscou-se selecionar no estado de Minas Gerais pontes rodoviárias em concreto armado que foram reabilitadas em obras de duplicação de rodovias, cujas datas de conclusão estejam compreendidas no período entre cinco e quinze anos. Além disso, optou-se por pontes que receberam intervenções de alargamento e reforço na mesma época da conclusão das pontes novas construídas ao lado, sendo estipulada uma diferença máxima de quinze meses entre as duas obras.

O prazo mínimo de cinco anos foi estabelecido para que fosse possível verificar se os procedimentos de reforço e recuperação realizados nas pontes antigas foram eficientes na eliminação das causas das manifestações patológicas que existiam antes das intervenções, bem como avaliar a eficácia das intervenções de alargamento. O prazo máximo de quinze anos teve por objetivo evitar que a pesquisa identifique danos que são decorrentes do desgaste natural da estrutura aliado à sua manutenção deficiente ao longo dos anos, o que poderia gerar um julgamento errôneo sobre a eficácia das intervenções de reabilitação realizadas. A diferença máxima de quinze meses entre a conclusão das obras das pontes novas e da reabilitação das pontes antigas teve por objetivo garantir uma comparação de desempenho em condições semelhantes, pois uma diferença maior poderia significar um tempo de utilização de determinada estrutura diferente o bastante para comprometer os resultados da pesquisa.

Além do prazo de conclusão das obras, outro critério adotado para a seleção das pontes foi a existência de documentação suficiente e mais detalhada possível, que possibilitasse um estudo de caso completo, com dados da construção original da ponte, do seu comportamento ao longo dos anos, das condições em que se encontravam antes das obras de reabilitação e finalmente, das intervenções que foram realizadas durante as obras de duplicação.

Inicialmente foram identificadas 66 obras de arte especiais que receberam intervenções de alargamento e reforço em obras de duplicação de rodovias federais no estado de Minas Gerais nos últimos 20 anos, sendo uma na BR-040, uma na BR-050, onze na BR-262 e cinquenta e três na BR-381. Seguindo os critérios descritos acima, foram pré-selecionadas treze obras para serem pesquisadas, das quais se escolheu as cinco que possibilitaram uma melhor representatividade. Foram priorizadas as pontes onde foram utilizados diferentes métodos de

reforço e alargamento e também aquelas situadas em locais diversificados. Os dados principais das pontes selecionadas estão descritos no Quadro 3.1.

Quadro 3.1: Dados principais das pontes selecionadas para a pesquisa.

Rodovia	Localização		Conclusão da Obra Nova	Conclusão do Alarg. /Reforço	Denominação da OAE
	km	Município			
BR-262	361	Betim	Julho/2010	Junho/2011	Ponte sobre o Rio Paraopeba
	369,5	Juatuba	Maior/2010	Julho/2011	Ponte sobre o Rib. Mateus Leme
	402,8	Pará de Minas	Setembro/2010	Julho/2011	Ponte sobre o Rib. dos Paivas
	431,1	Nova Serrana	Setembro/2010	Julho/2011	Ponte sobre o Rio Pará
BR-381	856,3	Pouso Alegre	Novembro/2003	Fevereiro/2005	Ponte sobre Rio Sapucaí Mirim

Definidas as pontes a serem avaliadas, foi realizada uma ampla pesquisa junto ao DNIT e ao DER/MG, órgãos responsáveis pelas obras de duplicação das rodovias onde as mesmas estão inseridas, com o objetivo de se conhecer todos os detalhes de projetos e execução, incluindo as construções novas, as pontes antigas e seus respectivos projetos de alargamento, reforço e recuperação. Algumas informações adicionais foram obtidas junto às empresas projetistas ou profissionais que atuaram nas obras de reabilitação dessas pontes. Buscou-se também analisar relatórios de inspeções anteriores às intervenções, a fim de se conhecer o estado de conservação das pontes antigas antes de serem reabilitadas.

As cinco pontes avaliadas estão inseridas em rodovias que atualmente encontram-se concedidas à iniciativa privada. Tendo em vista que o Programa de Exploração Rodoviária – PER prevê a realização anual de inspeções rotineiras em todas as pontes existentes nos trechos concedidos, buscou-se junto às concessionárias e também junto à Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, informações referentes às inspeções já realizadas desde o início das concessões. Os relatórios dessas inspeções forneceram dados importantes para a análise de desempenho das estruturas, ao possibilitarem conhecer o histórico dos danos ocorridos em anos anteriores e sua evolução até a data de realização da inspeção atual.

Finalmente, após a coleta e estudo de todos estes dados, foram realizadas inspeções visuais nos cinco pares de pontes, seguindo os critérios estabelecidos pelas normas NBR 9452 (ABNT, 2016) e DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b). Visando tornar as inspeções mais abrangentes e adequá-las aos objetivos desta pesquisa, adotou-se também a metodologia

GDE/UnB (VERLY, 2015), que se diferencia do método de avaliação do DNIT ao prever uma descrição mais detalhada dos danos identificados. As inspeções contaram com o apoio de um auxiliar técnico e foram utilizados equipamentos considerados comuns (ferramentas para atividades de limpeza, inspeção, melhoria de visão, medição e registro) e observados os critérios mínimos de segurança recomendados pelo manual de inspeções de pontes rodoviárias do DNIT (DNIT, 2004a). Foram realizados também ensaios não destrutivos de pacometria somente para verificação do cobrimento das armaduras, por meio de um equipamento detector de metais da marca Bosh, modelo D-tect 150 Professional.

No caso das estruturas reabilitadas, foram observados com maior ênfase os pontos e regiões onde foram identificados danos anteriores à recuperação, assim como a área de transição entre a estrutura de concreto nova e a antiga, nos locais onde foram realizadas intervenções de alargamentos e reforço com aumento de seção. Para as obras de reforço estrutural sem alterações geométricas, foi avaliada a integridade dos elementos de reforço aplicados e o possível surgimento de manifestações patológicas em torno da sua implantação.

O parâmetro utilizado para medir o desempenho das pontes inspecionadas nesta pesquisa foi o nível de deterioração apresentado por cada uma delas. Esses dados foram obtidos por meio das avaliações que foram realizadas sob três diferentes critérios de avaliação.

Para facilitar a compreensão dos estudos de caso realizados, primeiramente foram apresentados todos os dados levantados para cada par de pontes, seguidos pelos respectivos resultados das inspeções atuais e por uma análise comparativa de desempenho entre a ponte nova e a antiga reabilitada. Após a apresentação dos resultados de cada caso, foi realizada uma análise geral dos resultados das dez pontes avaliadas, que subsidiaram as conclusões obtidas neste trabalho.

# 4

## APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim

As pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim estão localizadas na rodovia BR-381, km 856+315 m, no município de Pouso Alegre, em Minas Gerais. Tem como subtrecho o entroncamento com a BR-459 (Pouso Alegre) até o entroncamento com a MG-295 (Cambuí), sob o código 381BMG0770 no Sistema Nacional de Viação – SNV de 2016, com volume médio de tráfego na ordem de 16.600 veículos por dia. A Figura 4.1 mostra uma vista geral das pontes avaliadas.



Figura 4.1 – Foto das pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim. À esquerda a ponte nova e à direita a ponte antiga reabilitada.

A Rodovia BR-381 é uma rodovia federal brasileira que se inicia no município de São Mateus, no estado do Espírito Santo, atravessa o estado de Minas Gerais e chega até a capital do estado de São Paulo. Possui ao todo 1186 quilômetros de extensão, dos quais 147,7 estão no Espírito Santo, 944,7 em Minas Gerais e 93,6 em São Paulo (DNIT, 2017). O trecho

compreendido entre Belo Horizonte e São Paulo, denominado Rodovia Fernão Dias, foi duplicado pelo DNIT, através de um convênio com DER-MG, no período de 1994 a 2005 e atualmente encontra-se sob responsabilidade da concessionária Auto Pista Fernão Dias. Essa concessão teve início em 2008 e abrange 570 quilômetros da rodovia. A Figura 4.2 mostra a localização da rodovia BR-381 e das pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim.

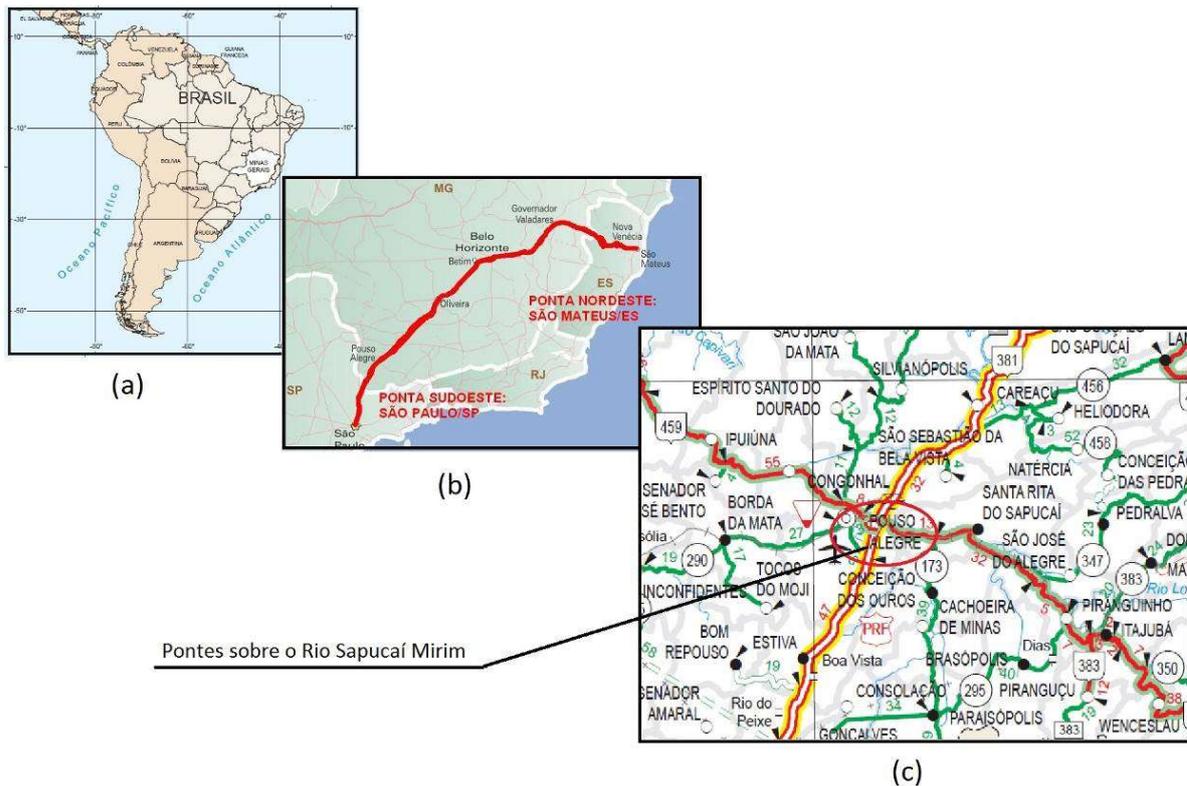


Figura 4.2 – Localização das pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim. (a) Localização do Brasil, (b) Traçado da rodovia BR-381, (c) Localização do município de Pouso Alegre e das duas pontes. Fontes: Adaptado de (a) Portal de Pesquisas Temáticas e Educacionais, 2017 (b) O Caminhante, 2017, (c) DNIT, 2013.

#### 4.1.1 Ponte Reabilitada

##### 4.1.1.1 Descrição da ponte original

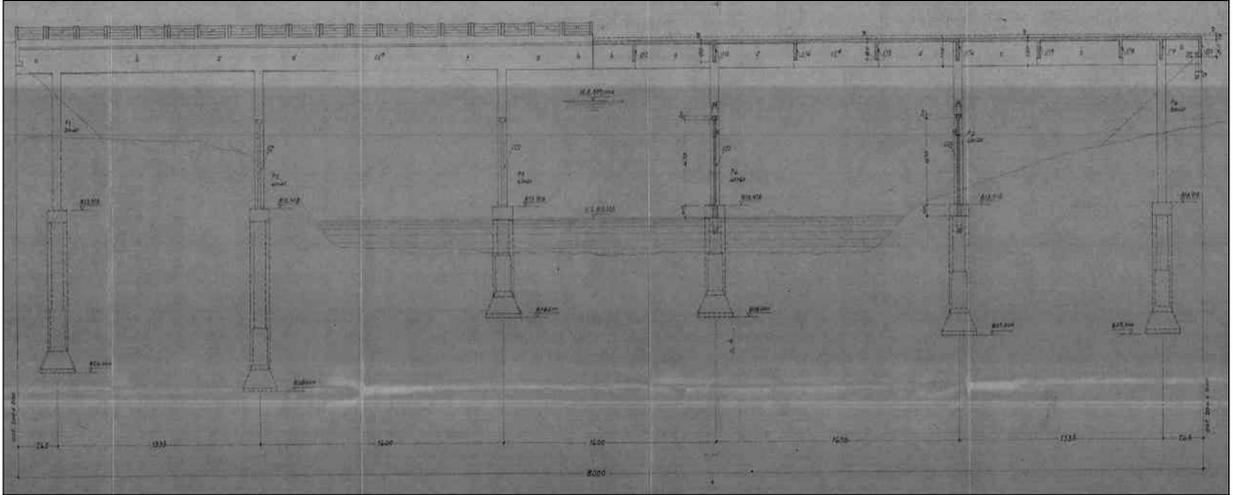
A ponte original foi projetada em 1954, pela Construtora Rabello Ltda, contratada pelo extinto DNER. Embora não exista a memória de cálculo desta ponte, pode-se inferir, pela data do seu projeto e pelas suas características geométricas, que a mesma era Classe 24 toneladas e foi dimensionada de acordo com as normas vigentes à época (NB-1/1946, NB-2/1946 e NPER/1949), conforme histórico de evolução apresentado no Manual de Inspeções de Pontes

Rodoviárias (DNIT, 2004a). As principais características dessa ponte estão descritas no Quadro 4.1.

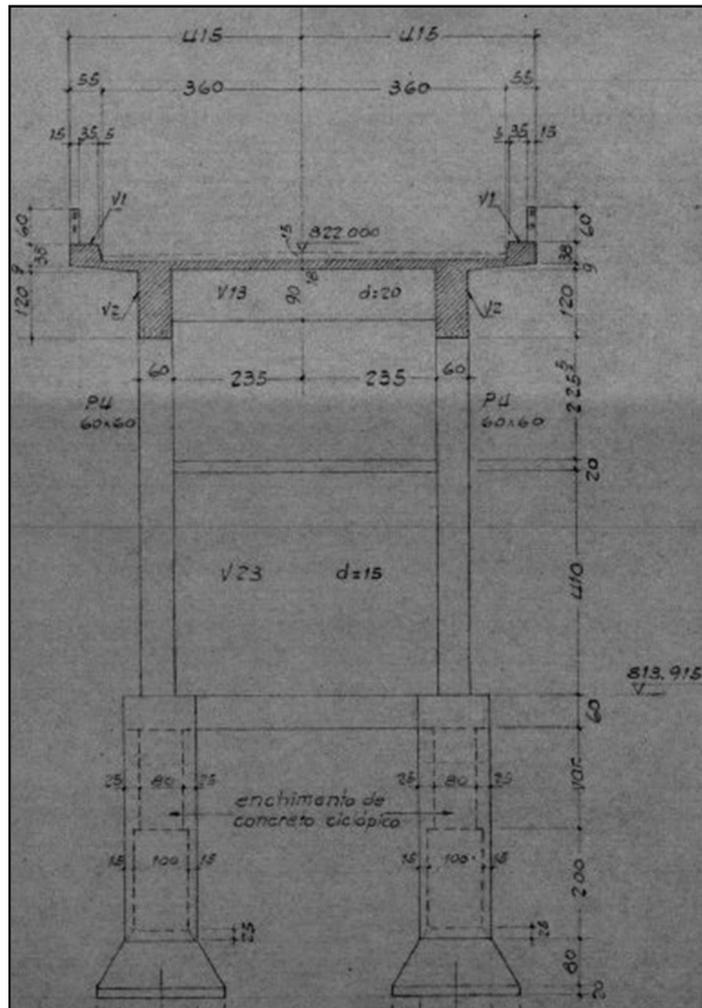
Quadro 4.1– Principais características do projeto original da ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim.

<b>Materiais</b>	
<p>Todos os elementos em concreto armado.</p> <p>Não possui aparelhos de apoio.</p> <p>Revestimento asfáltico da pista com 15 cm de espessura.</p> <p>Sem especificação do sistema de drenagem.</p>	
<b>Região</b>	
Obra situada em região ondulada.	
<b>Dados Geométricos</b>	
Ponte ortogonal ao rio e tangente à rodovia.	
Comprimento Total	80,0 metros com cinco vãos (13,5 m + 16,0 m + 16,0 m + 16,0 m + 13,5 m), além de dois balanços de 2,65 m nas extremidades.
Largura total	8,30 m com duas pistas de 3,50 m.
Acostamento	Não possui.
Guarda-rodas	Dois guarda-rodas com seção transversal de 55 x 38 cm.
Guarda-corpo	Em concreto vazado, de 15 x 60 cm sobre os guarda-rodas.
Laje	Maciça, com espessura de 18 cm.
Longarinas	Duas longarinas, com seção transversal variável de 30 a 60 x 120 cm.
Transversinas	16 transversinas, com seção transversal de 20 x 90 cm sobre os apoios e 20 x 80 cm nas demais.
Pilares	Seis pares de pilares, sendo os pilares intermediários ligados por vigas de contraventamento do tipo parede com seção de 15 x 410 cm. Os pilares extremos possuem seção transversal de 50 x 60 cm e os intermediários possuem seção transversal de 60 x 60 cm.
Fundação	Profunda, composta por doze tubulões de 1,30 m de diâmetro, unidos por cintas com seção transversal de 35 x 60 cm.
Laje de transição	Não possui.
Encontros	Não possui (extremidades em balanço).
Cortina	Seção transversal de 20 x 80cm.

A Figura 4.3 mostra a vista longitudinal e o corte transversal com as características geométricas da concepção da ponte original.



(a) Vista longitudinal da ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim.



(b) Corte transversal sobre pilar intermediário.

Figura 4.3 – Características geométricas da ponte original sobre o Rio Sapucaí Mirim (Projeto DNER, 1954).

#### 4.1.1.2 Situação da ponte antes das intervenções de reabilitação

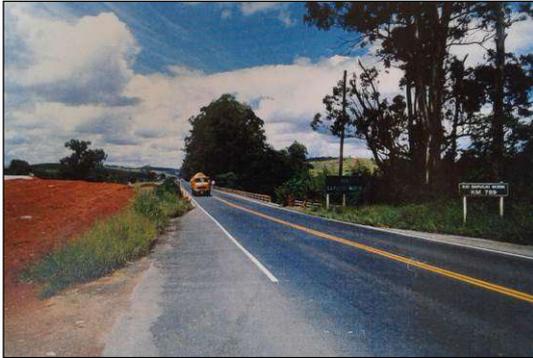
Estavam previstas intervenções de reforço e alargamento desta ponte na segunda etapa das obras de duplicação da rodovia BR-381, que teve início em 1997, com previsão de término em 1999. No entanto, devido a problemas nos contratos de execução, as obras de reabilitação desta ponte, bem como a construção da ponte nova, foram excluídas do contrato que tinha por objeto a duplicação de um segmento desta rodovia. Essas obras foram relicitadas e tiveram sua execução iniciadas em 2002, com término em 2005.

Devido ao tempo decorrido desde a elaboração do projeto de reforço e alargamento até o início efetivo das obras, foi realizada uma inspeção visual da ponte existente em fevereiro de 2000, com o objetivo de conhecer as condições gerais e atuais da obra e fornecer subsídios para a elaboração dos projetos executivos de reabilitação. Foi apresentado um relatório contendo a descrição das anomalias detectadas em cada elemento estrutural da obra, permitindo uma avaliação qualitativa e quantitativa das intervenções exigidas para sua recuperação. Esse trabalho de inspeção foi realizado pela Fundação Christiano Ottoni, representada pelos professores Élvio Mosci Piancastelli e Sebastião Salvador Real Pereira, pertencentes ao Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG, a pedido do DER-MG, responsável pela execução das obras de duplicação. As principais anomalias identificadas nesta inspeção são apresentadas no Quadro 4.2.

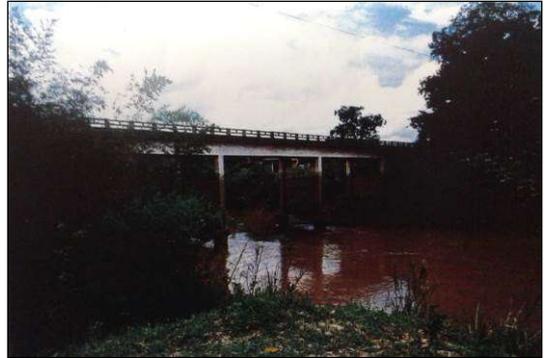
Quadro 4.2– Principais anomalias identificadas na inspeção da ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim antes da reabilitação.

<b>Elemento Estrutural</b>	<b>Descrição das Anomalias</b>
Pilares	Fissuras (pilares) Armaduras expostas e oxidadas (pilares e vigas de travamento) Erosão no concreto (pilares e vigas de travamento)
Fundação	Erosão no concreto de tubulões e cintas Falha de concretagem em tubulões (juntas de concretagem)
Longarinas	Armadura exposta nas faces inferiores (estribos fundo de forma)
Transversinas	Armadura exposta nas faces inferiores (estribos fundo de forma)
Cortinas	Armadura exposta nas faces inferiores (estribos fundo de forma)
Guarda-corpo	Partes danificadas por colisão de veículos

O registro fotográfico resultante dessa inspeção, onde é demonstrada a situação geral da ponte e as principais anomalias detectadas, é mostrado na Figura 4.4.



(a) Vista geral da ponte, sentido BH – SP



(b) Vista lateral da ponte



(c) Vista inferior do tabuleiro



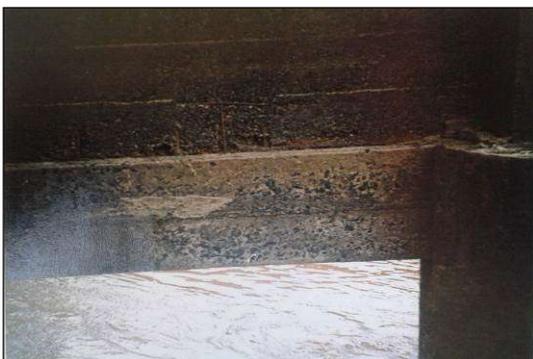
(d) Guarda-corpo danificado



(e) Talude erodido e desprotegido



(f) Erosão no concreto (apoios submersos)



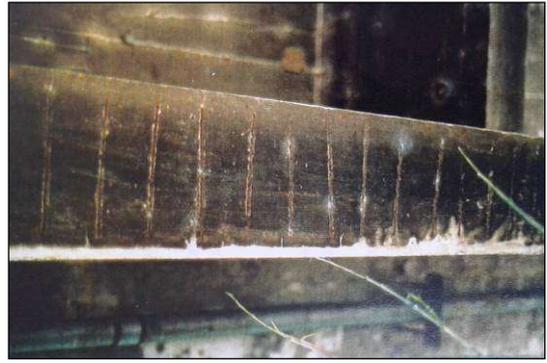
(g) Detalhe da erosão nos tubulões, cintas e parede de travamento, com armadura exposta nessa última.



(h) Detalhe da junta de concretagem e erosão no tubulão.



(i) Detalhe de fissura no topo de um pilar.



(j) Armaduras expostas na face inferior de uma longarina.

Figura 4.4 – Registro fotográfico da inspeção da ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim antes da reabilitação (DER-MG, 2000).

Além da identificação dos danos existentes na ponte, foram listadas ao final do laudo de inspeção sugestões de intervenções para a recuperação da ponte, para serem analisadas e detalhadas no projeto executivo. Em síntese, as intervenções sugeridas para a recuperação dos elementos estruturais que apresentavam anomalias, bem como para a ampliação da vida útil dos demais elementos foram:

- Limpeza das superfícies dos elementos estruturais;
- Tratamento das armaduras oxidadas;
- Correção dos defeitos no concreto;
- Proteção das armaduras com cobrimento insuficiente;
- Tratamento das fissuras;
- Desvio das águas de chuva;
- Recomposição e proteção de aterros;
- Proteção das margens contra erosão;
- Procedimentos de inspeção das partes de elementos estruturais que estão enterradas ou submersas e se necessário, sua recuperação.

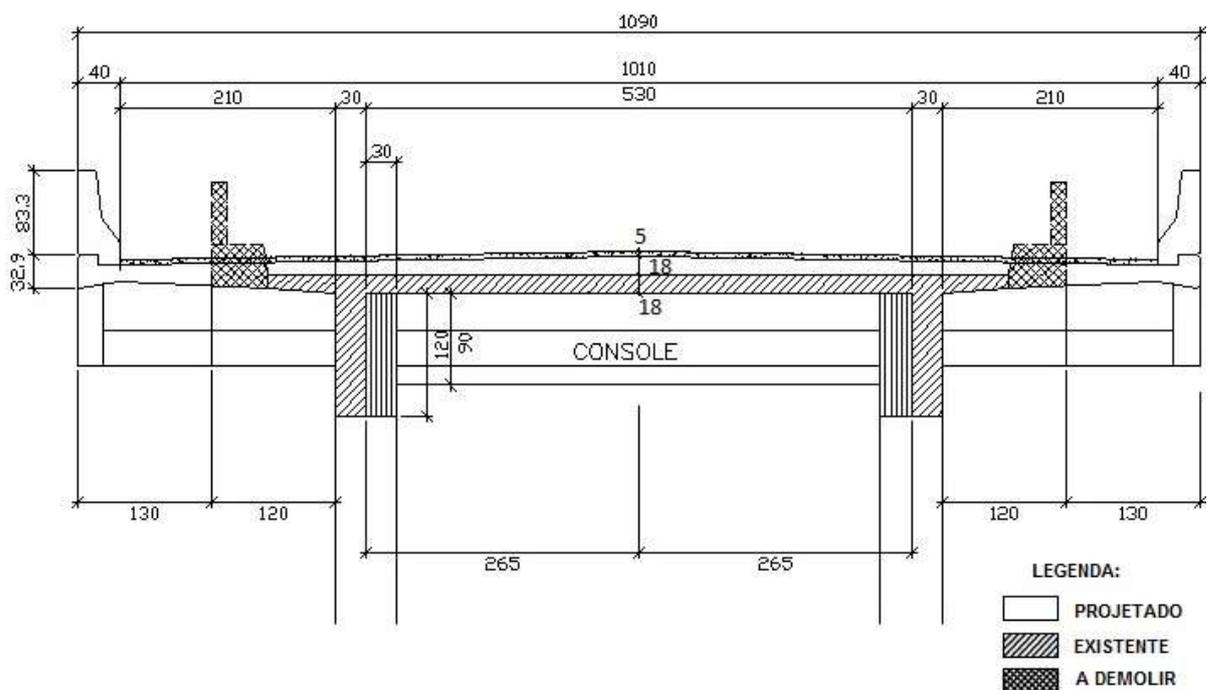
#### 4.1.1.3 Procedimentos de alargamento e reforço estrutural

O projeto de alargamento e reforço foi elaborado em 1997 pela empresa COESP Consultoria e Projeto Estrutural Ltda e os serviços foram executados pela empresa M. Martins Engenharia e Comércio Ltda, no período de janeiro de 2002 a fevereiro de 2005, ambos contratados pelo DER-MG, para o qual as obras de duplicação da rodovia BR-381 foram delegadas pelo extinto DNER, através de convênio.

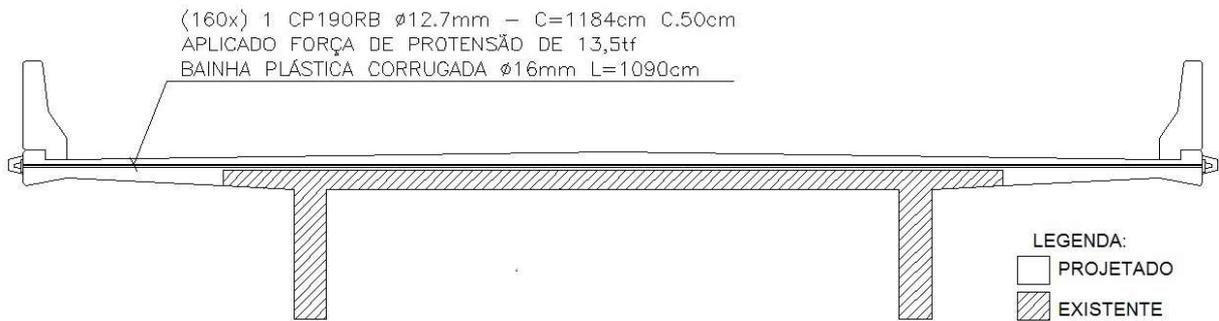
As intervenções de reabilitação da ponte tiveram por objetivo atender às novas exigências da rodovia BR-381 que passava por obras de duplicação. O projeto previa o alargamento da ponte, aumentando sua largura total de 8,30 para 10,90 metros, que correspondia à largura de cada pista após a duplicação (duas faixas de rolamento e acostamento). Foi previsto também o reforço estrutural da ponte visando readequá-la para o trem-tipo TB-45 (450 kN), a substituição do pavimento e das juntas de dilatação, o alargamento das cortinas e a implantação de lajes de transição nas extremidades, a troca dos guarda-rodas e guarda-corpos por barreiras de segurança do tipo New Jersey, a implantação de drenos e pingadeiras, além de intervenções de recuperação da estrutura existente.

#### A) Alargamento e reforço da superestrutura

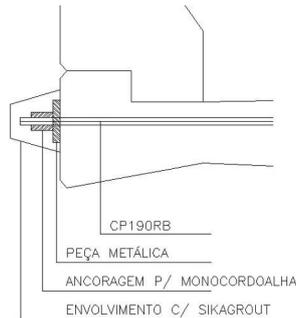
O método de alargamento adotado consistiu no acréscimo de largura das lajes existentes em 1,30 metros para cada lado, utilizando-se protensão transversal na parte superior do tabuleiro. Foi executada uma sobrelaje em concreto protendido, com espessura de 18 cm no meio do vão, com 160 cordoalhas de 7 fios do tipo CP190RB, diâmetro de 12,7 mm, dispostas a cada 50 cm, em bainhas plásticas corrugadas com 16 mm de diâmetro. Para a protensão foram previstas ancoragens nas duas extremidades laterais da laje. A Figura 4.5 mostra os detalhes do alargamento da laje com protensão transversal.



(a) Seção transversal da ponte alargada.



(b) Local de instalação das cordoalhas para protensão da laje.



(c) Detalhes de ancoragem.



(d) Vista das ancoragens da laje protendida.

Figura 4.5 – Detalhes do alargamento da laje com protensão transversal (DNIT, 2005).

A Figura 4.6 apresenta algumas fotos da fase executiva do reforço e alargamento da laje.



(a) Demolição do pavimento, dos guarda-rodas e guarda-corpos.

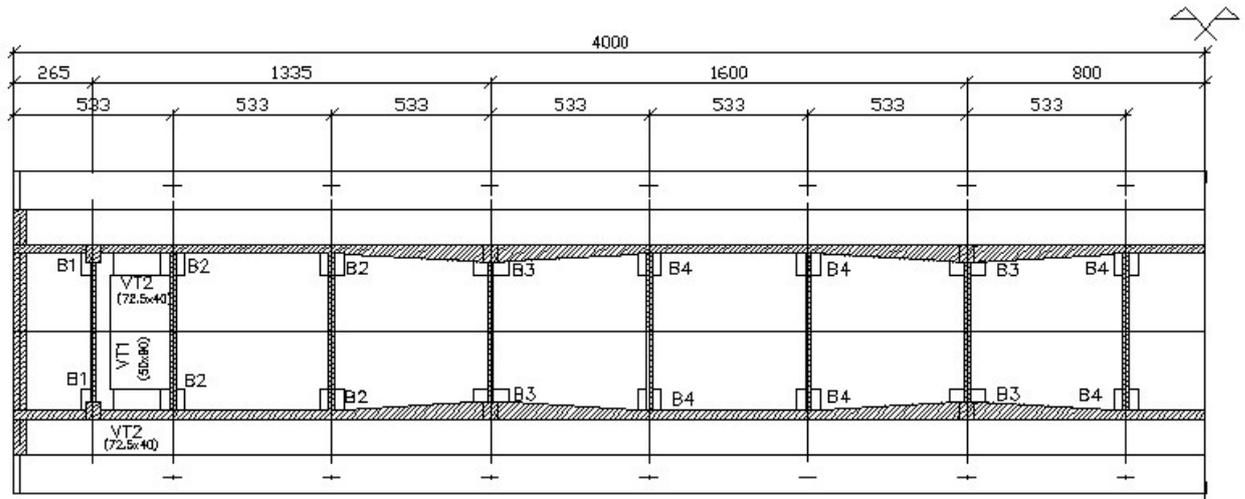


(b) No detalhe, armaduras existentes preservadas, para receber a laje nova.

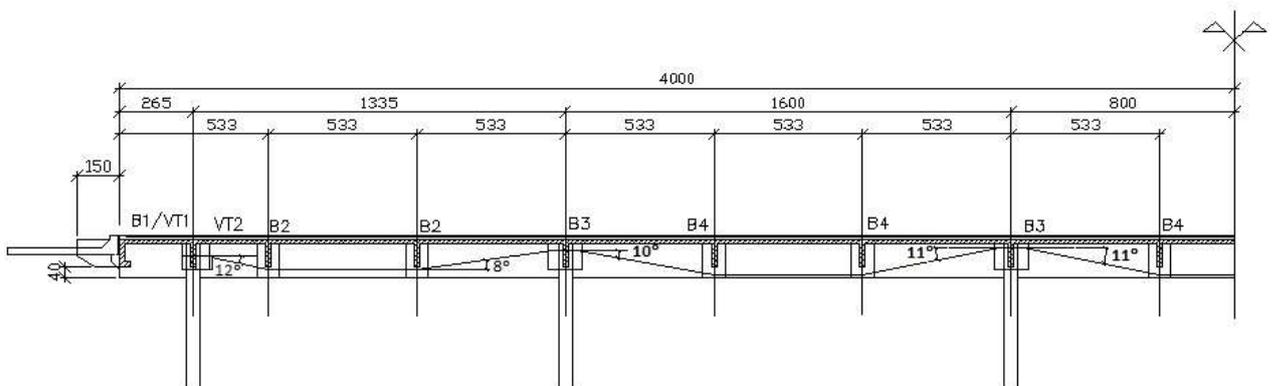
Figura 4.6 – Execução do alargamento e reforço da laje.

Além do alargamento e reforço da laje, o projeto previa o reforço das duas longarinas através de protensão externa. Para a protensão, foram adotados cabos compostos por 8 cordoalhas de 7 fios, diâmetro de 15,2 mm, dispostas em bainhas de polietileno com diâmetro de 92 mm. Para a ancoragem dos cabos de protensão, foram implantados blocos de concreto armado chumbados com barras de 20 mm coladas com resina epóxi, nas ligações das longarinas com as transversinas sobre os pilares extremos da ponte. Foram implantados também blocos de concreto armado nas ligações das longarinas com as demais transversinas, para exercerem a função de desviadores ao longo do comprimento da ponte, além de vigas longitudinais entre

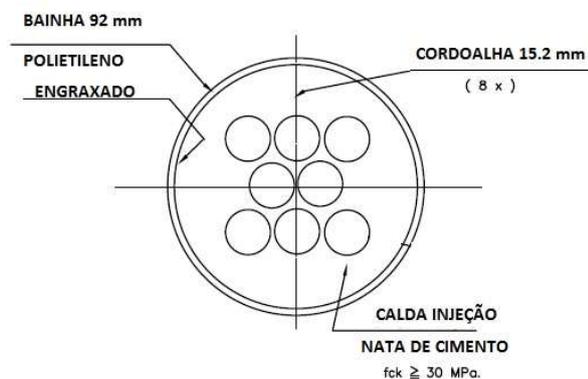
os dois primeiros blocos e vigas transversais ligando os dois blocos de ancoragem. O concreto utilizado em toda estrutura de protensão tinha resistência característica à compressão igual ou maior que 30 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. A Figura 4.7 apresenta os detalhes do reforço das longarinas com protensão externa.



(a) Localização dos blocos e das vigas de reforço do tabuleiro.



(b) Localização do cabo de protensão externa ao longo das longarinas.



(c) Detalhe do cabo de protensão.



(d) Detalhe da ancoragem.

(e) Detalhe dos blocos e vigas na ancoragem.

(f) Localização do cabo de protensão.

Figura 4.7 – Detalhes do reforço das longarinas com protensão externa (DNIT, 2005).

## B) Reforço da mesoestrutura

Foi previsto reforço estrutural apenas para os quatro pilares extremos, através do aumento da seção transversal, de 50 x 60 cm para 80 x 85 cm. O procedimento previa o apicoamento em toda a sua superfície, a colocação de armadura adicional, chumbada no tubulão e no pilar existente, através de barras de aço coladas com resina epóxi e em seguida a concretagem. A resistência característica à compressão do concreto utilizado neste reforço era de 20 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. A Figura 4.8 mostra detalhes da execução do reforço dos pilares.



(a) Execução da concretagem do reforço de um pilar.



(b) Vista do reforço concluído na primeira linha de apoios.

Figura 4.8 – Detalhes da execução do reforço dos pilares da ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim.

## C) Reforço da infraestrutura

O projeto não previa nenhum tipo de reforço para infraestrutura dos apoios existentes.

#### D) Procedimentos de recuperação da estrutura existente

Além das intervenções de alargamento e reforço estrutural, o projeto de reabilitação previa intervenções de recuperação para a face inferior de longarinas, cortinas e transversinas que apresentavam problemas de armaduras expostas, e também para os pilares, vigas de contraventamento, tubulões e cintas que apresentavam desgaste superficial do concreto provocado por erosão nos elementos que ficam submersos durante as cheias do rio.

Para a recuperação da face inferior das longarinas, cortinas e transversinas, foi recomendada a seguinte sequência executiva: limpeza superficial do concreto em toda a face inferior do tabuleiro, com aplicação de hidrojateamento por bomba de alta pressão, tratamento de armaduras expostas/oxidadas através remoção dos óxidos, pintura da armadura com SikaTop 108 e aplicação de camada de argamassa projetada. A sequência executiva para a recuperação dos elementos desgastados superficialmente era: limpeza superficial do concreto, apicoamento e aplicação de argamassa traço 1:8 (cimento/areia).

#### 4.1.2 Ponte Nova

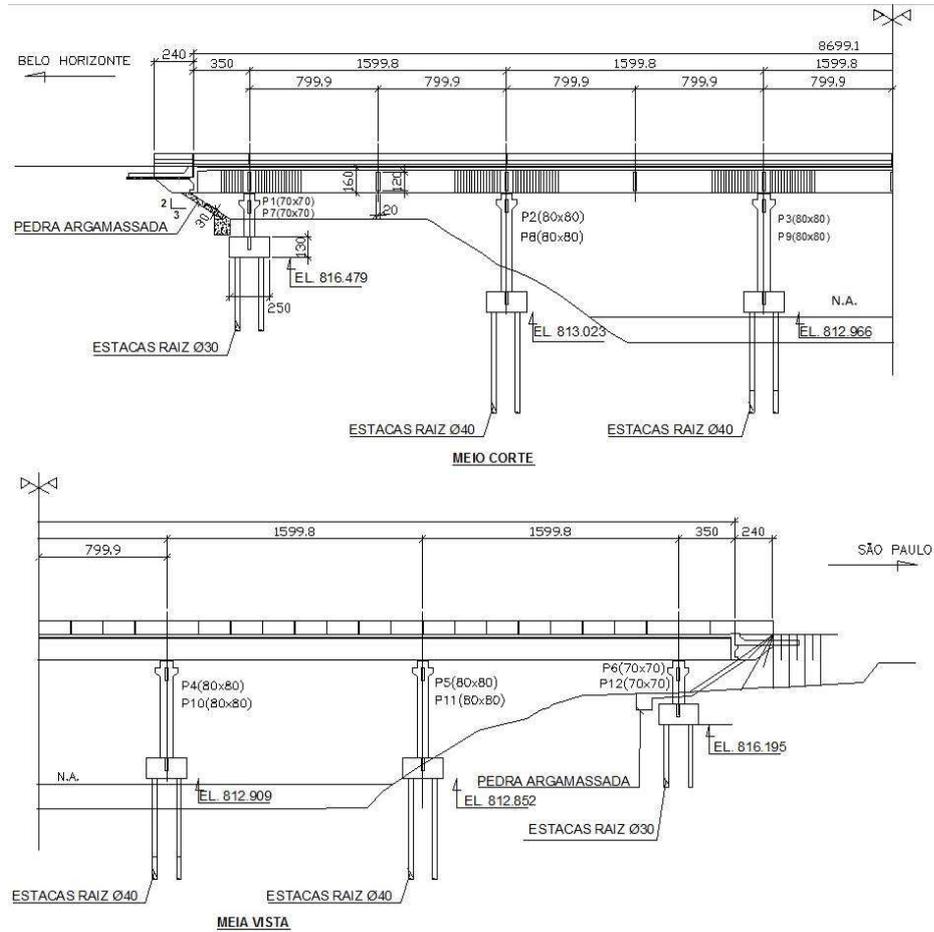
##### 4.1.2.1 Descrição da ponte nova

A ponte nova, Classe 45 toneladas, foi projetada em 1997 pela empresa COESP Consultoria e Projeto Estrutural Ltda e executada pela empresa M. Martins Engenharia e Comércio Ltda, no período de janeiro de 2002 a novembro de 2003, ambos contratados pelo DER-MG, no mesmo contrato em que estavam inseridas as obras de reabilitação da ponte existente. Esta ponte serviu como desvio de tráfego durante as obras na ponte existente e a partir de fevereiro de 2005 passou a integrar a rodovia duplicada. As principais características dessa ponte estão descritas no Quadro 4.3.

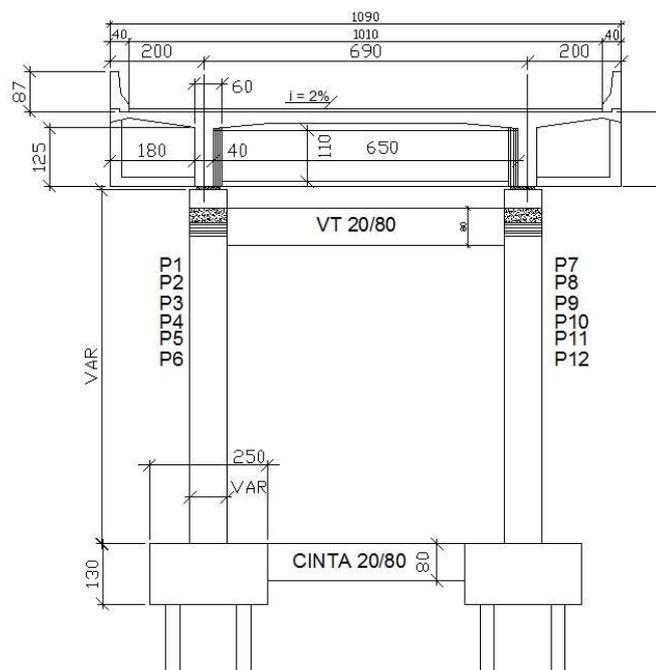
Quadro 4.3 – Principais características do projeto da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim.

<b>Materiais</b>	
<p>Todos os elementos em concreto armado.</p> <p>Aparelhos de apoio móveis em todos os pilares, do tipo neoprene fretado com espessura de 69 mm e dimensões de 40 x 50 cm.</p> <p>Juntas de dilatação preenchidas com masticque asfáltico nos encontros.</p> <p>Revestimento asfáltico da pista com 6 cm de espessura.</p> <p>Sem especificação do sistema de drenagem.</p>	
<b>Região</b>	
Obra situada em região ondulada.	
<b>Dados Geométricos</b>	
Ponte ortogonal ao rio e tangente à rodovia.	
Comprimento Total	87,0 metros com cinco vãos de 16,0 m cada, além de dois balanços de 3,5 m nas extremidades.
Largura total	10,90 m com duas faixas de rolamento e acostamento.
Acostamento	Sim
Guarda-rodas	Barreiras de segurança do tipo New Jersey.
Guarda-corpo	Não possui.
Laje	Maciça, com espessura de 25 cm no meio do vão.
Longarinas	Duas longarinas, com seção transversal variável de 40 a 60 x 125 cm.
Transversinas	11 transversinas, com seção transversal de 20 x 120 cm.
Pilares	Seis pares de pilares ligados por vigas de contraventamento no topo, com seção de 20 x 80 cm. Os pilares extremos possuem seção transversal de 70 x 70 cm e os intermediários possuem seção transversal de 80 x 80 cm.
Fundação	Profunda, composta por doze blocos apoiados em estacas do tipo raiz (quatro por bloco). As estacas dos apoios extremos possuem 300 mm de diâmetro e as demais 400 mm. Os blocos são unidos por cintas com seção transversal de 20 x 80 cm.
Laje de transição	Seção transversal de 400 cm x 25 cm.
Encontros	Não possui (extremidades em balanço).
Cortina	Seção transversal de 25 x 166 cm. Possui também alas nas extremidades.

A Figura 4.9 mostra a vista longitudinal e o corte transversal da ponte nova.



(a) Vista longitudinal da ponte nova.



(b) Seção transversal da ponte nova.

Figura 4.9 – Detalhes de projeto da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim (DNIT, 2005).

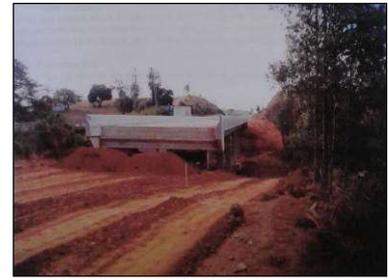
A Figura 4.10 apresenta algumas fotos da execução da ponte nova.



(a) Montagem da armação das longarinas.



(b) Concretagem da laje.



(c) Execução do aterro no encabeçamento da ponte.

Figura 4.10 – Execução da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim.

#### 4.1.3 Inspeções anteriores

Após a conclusão das obras de duplicação da rodovia, as primeiras inspeções foram realizadas pela concessionária Auto Pista Fernão Dias, responsável pela concessão deste segmento da rodovia a partir de abril de 2008. Inspeções rotineiras são realizadas anualmente e os respectivos relatórios são entregues à ANTT, conforme previsto no PER. Os principais danos identificados nas inspeções já realizadas são apresentados no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Principais danos identificados nas inspeções já realizadas.

Ponte	Ano	Danos Identificados
Reabilitada	2008	Pequena espessura do cobrimento, armaduras expostas e oxidadas nos apoios; Buzinotes danificados; Trincas na proteção dos taludes; Fissuras e infiltração nos balanços laterais da laje; Pequena espessura do cobrimento e armaduras expostas na face inferior das longarinas; Armadura exposta em tubulões; Fissuras no pavimento; Junta de dilatação danificada e obstruída pelo revestimento asfáltico.
Reabilitada	2009	Idem inspeção 2008.
Reabilitada	2010	Juntas de dilatação danificadas e obstruídas pelo revestimento asfáltico; Armadura exposta em tubulões; Desagregação superficial do concreto na mesoestrutura.
Reabilitada	2011	Idem inspeção 2010.
Reabilitada	2012	Fissuras na laje e na cortina; Tubulões aparentes, com concreto desagregado, armadura exposta e oxidada.
Reabilitada	2013	Juntas de dilatação com berços, lábios poliméricos e perfis elastoméricos rompidos; Tubulões aparentes, com concreto desagregado, armadura exposta e oxidada; Concreto desagregado com armadura exposta em longarina; Fissuras na laje e na cortina; Fissuras e deterioração do concreto no revestimento do talude no encontro Norte.

Reabilitada	2014	Idem inspeção 2013; Fissuras no pavimento; Junta de dilatação reparada indevidamente com revestimento asfáltico.
Reabilitada	2015	Taludes dos encontros estabilizados, mas com trincas no revestimento de proteção e pontos localizados de crescimento de vegetação; Fissuras nos balanços laterais da laje; Fissuras no pavimento; Juntas de dilatação deterioradas e obstruídas por revestimento asfáltico.
Nova	2008	Acúmulo de material e erosão no concreto das estacas dos apoios submersos; Sinais de erosão nos taludes e nas margens do rio; Acúmulo de água no acostamento; Fissuras e infiltrações na laje; Fissuras nas faces laterais das longarinas; Trincas transversais no pavimento; Juntas de dilatação obstruídas por revestimento asfáltico.
Nova	2009	Idem inspeção 2008.
Nova	2010	Fissuras no concreto de proteção superficial dos taludes; Juntas de dilatação deterioradas e obstruídas pelo revestimento asfáltico; Algumas falhas nos reparos realizados nas fissuras das longarinas e da laje; Corrosão de armadura pontual na cortina; Concreto desagregado em pilares e vigas de contraventamento.
Nova	2011	Idem inspeção 2010.
Nova	2012	Idem inspeção 2010, exceto as fissuras da proteção dos taludes e das juntas de dilatação que foram recuperadas; Buzinotes curtos.
Nova	2013	Idem inspeção 2012; Juntas de dilatação com berços, lábios poliméricos e perfis elastoméricos rompidos; Pavimento deteriorado em ponto localizado e fissuras no acostamento.
Nova	2014	Acúmulo de galhos nos blocos e estacas; Juntas de dilatação obstruídas por revestimento asfáltico; Deterioração pontual no pavimento e fissuras no acostamento; Danos no concreto da face inferior da longarina, devido à colisão veicular (retorno irregular).
Nova	2015	Idem inspeção 2014.

A concessionária adota a metodologia do DNIT para a avaliação das pontes sob sua responsabilidade. Para cada ponte inspecionada, são atribuídas notas técnicas de acordo com os critérios estabelecidos pela norma DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b). A Figura 4.11 demonstra, através de um gráfico, a evolução das notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim, nas inspeções realizadas no período de 2008 a 2015.

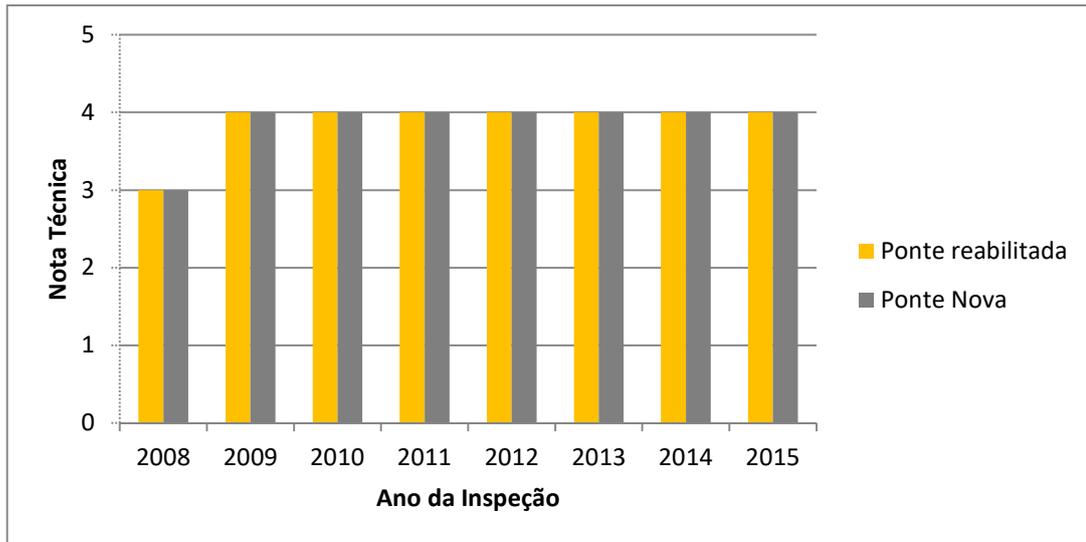


Figura 4.11 – Evolução das notas técnicas atribuídas às pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim, de acordo com a norma DNIT 010/2004.

Verifica-se no gráfico que as duas pontes sempre tiveram a mesma classificação e as notas técnicas praticamente ficaram inalteradas durante o período avaliado, com exceção apenas do primeiro ano da concessão. O aumento das notas a partir do segundo ano avaliado, não está relacionado a uma melhora real das condições de conservação das pontes, mas sim ao caráter subjetivo da metodologia de avaliação do DNIT. Prova disso é que, segundo os próprios relatórios de inspeção, não foram realizadas intervenções significativas no intervalo entre as duas primeiras inspeções que pudessem justificar a elevação das suas notas técnicas. Embora as duas pontes tenham tido desempenhos semelhantes ao longo dos anos, é importante ressaltar que cada uma apresentou danos particulares, mas esses não comprometeram as suas avaliações, seja pela pouca gravidade das anomalias ou até mesmo em função dos serviços de manutenção que foram realizados no período.

As informações contidas nos relatórios de inspeção possibilitaram a identificação das intervenções que foram realizadas a título de manutenção preventiva e/ou corretiva, como por exemplo, serviços de recuperação do pavimento, reparos localizados no concreto dos tubulões da ponte reabilitada, tratamento de fissuras na laje e longarinas da ponte nova, implantação de proteção superficial em concreto nos taludes dos dois encontros da ponte nova e substituição das juntas de dilatação ocorrida no final de 2011 em ambas as pontes. Foi possível verificar ainda a ineficiência de algumas intervenções, como por exemplo, a troca das juntas de dilatação, visto que durante as inspeções realizadas em 2013, 18 meses após a substituição, as mesmas já apresentaram defeitos nos berços, lábios poliméricos e perfis elastoméricos.

#### 4.1.4 Resultado das inspeções realizadas em 2017

As pontes foram vistoriadas no dia 28 de julho de 2017, treze anos e oito meses após a construção da ponte nova e doze anos e cinco meses após as intervenções de alargamento e reforço da ponte antiga. Foram realizadas inspeções visuais, seguindo os critérios estabelecidos pelas normas NBR 9452 (ABNT, 2016) e DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b) e pela metodologia GDE-UnB (VERLY, 2015), com o objetivo de avaliar o estado atual das duas pontes. Foram realizados também ensaios não destrutivos apenas para verificação do cobrimento das armaduras, por meio de um equipamento detector de metais da marca Bosh, modelo D-tect 150 Professional. As fichas de inspeção e os resultados dos ensaios de pacometria são apresentados nos apêndices A e F deste trabalho, respectivamente.

##### 4.1.4.1 Inspeção realizada na ponte reabilitada

São descritas a seguir as condições atuais de cada elemento constituinte da ponte reabilitada, assim como os principais danos ou anomalias identificados durante a inspeção.

###### A) Pista de Rolamento

De maneira geral, a pista de rolamento apresentava boas condições, existindo apenas algumas irregularidades no pavimento, especialmente nas juntas de dilatação. Estas se encontravam deterioradas, com o rompimento parcial do berço, dos lábios poliméricos e do material de vedação, causando desconforto ao motorista e ao mesmo tempo possibilitando a infiltração de água da pista nos elementos da superestrutura. Verificou-se em uma dessas juntas, um reparo executado indevidamente com massa asfáltica. Foi identificada uma trinca longitudinal no acostamento, ao lado das barreiras de segurança nas pistas de acesso, provocada por um leve assentamento do aterro sob essas barreiras, mas esta não oferece risco à integridade da ponte. Existiam também detritos no acostamento e sobre as juntas de dilatação, que propicia o acúmulo de umidade e podem obstruir algum dispositivo de drenagem da ponte. As barreiras de segurança estavam em bom estado de conservação, apresentando apenas algumas manchas escuras devido ao acúmulo de fuligem atmosférica. Por meio do ensaio de pacometria, verificou-se nas barreiras de segurança a adoção de cobrimentos de armadura em conformidade com o projeto, o que pode justificar a ausência de problemas de corrosão de armadura. As cortinas estavam em boas condições, apresentando apenas algumas manchas de

infiltração. Verificou-se a existência de uma pequena fresta entre o fundo da cortina e o concreto da proteção superficial do talude, indicando que houve um leve assentamento do aterro abaixo da cortina. Esse assentamento, no entanto, não acarretou nenhum desnível na pista de rolamento. A Figura 4.12 mostra as condições da pista de rolamento, incluindo estrutura de contenção, dispositivos de sinalização e segurança viária.



(a) Vista geral da ponte – sentido Belo Horizonte – São Paulo.



(b) Vista geral da ponte – sentido São Paulo – Belo Horizonte.



(c) Junta de dilatação com material de vedação parcialmente rompido.



(d) No detalhe, berço, lábio polimérico e material de vedação danificados.



(e) Junta de dilatação indevidamente reparada com massa asfáltica.



(f) Trinca longitudinal no pavimento, ao lado da barreira de segurança.



(g) No detalhe, a trinca e o acúmulo de detritos na pista.



(h) Acúmulo de detritos sobre a junta de dilatação.



(i) Manchas escuras nas barreiras de segurança (fuligem atmosférica).



(j) Manchas de infiltração na cortina e sinais de um leve afundamento do aterro.

Figura 4.12 – Condições da pista de rolamento da ponte reabilitada sobre o Rio Sapucaí Mirim.

## B) Superestrutura

A superestrutura encontra-se em bom estado de conservação. Foram identificados apenas alguns danos que não comprometem sua integridade estrutural, mas que precisam ser tratados a fim de prolongar a sua vida útil. Existem diversos pontos de percolação de água pela face inferior da laje nos balanços laterais, devido ao mau funcionamento de drenos e pingadeiras. Essa exposição indevida está causando a deterioração do concreto em alguns pontos da laje. Verificaram-se alguns deslocamentos pontuais na laje, provocados por corrosão de armadura. Nas longarinas, constatou-se a existência de armaduras expostas em sua face inferior. Esse problema já havia sido identificado na inspeção ocorrida antes da reabilitação e o projeto de recuperação previa a aplicação de argamassa projetada, mas houve apenas o tratamento das armaduras com pintura. Esta pintura interrompeu o processo de corrosão, mas manteve-as aparentes. Há ainda um dano causado por colisão de veículo, com armadura exposta, em um retorno clandestino que existe sob essas pontes e algumas falhas de concretagem pontuais. As medições realizadas com o pacômetro apresentaram espessuras de

cobrimento insuficientes nas longarinas, transversinas e na laje, inclusive na sua parte alargada. A Figura 4.13 mostra a situação em que se encontra a superestrutura desta ponte.



(a) Vista inferior do tabuleiro.



(b) Vista lateral da superestrutura.



(c) Cobrimento deficiente na face inferior da longarina.



(d) Desplacamento causado por colisão de veículo na face inferior da longarina.



(e) Armadura exposta em uma longarina, ao lado de um bloco de ancoragem do cabo de protensão.



(f) Manchas na face inferior da laje, indicando de corrosão de armadura.



(g) Concreto deteriorado na extremidade lateral da laje, devido à percolação de água nesse local.



(h) Percolação de água pela face inferior da laje, devido à falha na pingadeira e no dreno.



(i) Percolação de água pela face inferior da laje, devido à falha no dreno.



(j) Pontos de corrosão de armadura, com deslocamentos na laje.

Figura 4.13 – Situação da superestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Sapucaí Mirim.

### C) Mesoestrutura

As vigas de contraventamento dos pilares receberam a adição de nova camada de argamassa durante as obras de recuperação e os pilares extremos receberam acréscimo de seção transversal, deixando-os em excelente estado de conservação. Foi identificado apenas um leve desgaste superficial do concreto provocado por erosão nos elementos que estão sujeito à inundação nos períodos de cheia e uma pequena falha de concretagem em um pilar que recebeu reforço estrutural com aumento de seção transversal. Embora não existam armaduras expostas, os ensaios de pacometria apontaram baixas espessuras de cobrimento nos pilares intermediários, que não receberam aumento de seção e também nas vigas de contraventamento. A Figura 4.14 mostra a situação atual dos elementos da mesoestrutura.



(a) Vista dos pilares extremos no encontro próximo à cortina 2.



(b) Vista de um apoio intermediário.



(c) Desgaste superficial do concreto do pilar P8, devido à erosão.



(d) Falha de concretagem na execução do reforço do pilar P12.

Figura 4.14 – Situação da mesoestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Sapucaí Mirim.

#### D) Infraestrutura

A infraestrutura encontra-se aparentemente em bom estado de conservação, considerando que não há nenhum sinal de recalque ou deslocamento de fundação em toda a ponte. Existe apenas um desgaste superficial provocado por erosão nos tubulões dos apoios intermediários que ficam submersos e nas cintas que unem esses elementos. Esse desgaste não afeta a integridade desses elementos, mas pode comprometer a sua durabilidade. Recomenda-se uma inspeção subaquática da fundação para monitoramento das condições da fundação, uma vez que foi observada a formação de redemoinhos próximos a alguns tubulões, que podem provocar o seu solapamento. Os taludes dos encontros possuem proteção superficial em concreto nos dois lados e encontra-se em ótimas condições. A Figura 4.15 mostra os principais danos identificados na infraestrutura desta ponte.



(a) Desgaste superficial por erosão, da cinta que liga os tubulões T2 e T8.



(b) Desgaste superficial por erosão dos elementos de fundação e formação de redemoinhos próximos aos tubulões.

Figura 4.15 – Situação da infraestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Sapucaí Mirim.

São apresentados no Quadro 4.5, para cada metodologia de avaliação adotada, a nota técnica atribuída, sua respectiva classificação e as ações corretivas recomendadas.

Quadro 4.5 – Resultados da inspeção da ponte reabilitada sobre o Rio Sapucaí Mirim.

Metodologia	Nota Técnica	Classificação	Ação Corretiva
DNIT	4	Condição Boa – obra sem problemas importantes.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
GDE-UnB	12,72	Nível de deterioração baixo.	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
ABNT (Estrutural)	5	Condição Excelente - A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	Nada a fazer.
ABNT (Funcional)	4	Condição Boa - A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	Nada a fazer.
ABNT (Durabilidade)	3	Condição Regular - A OAE apresenta moderadas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.	Os defeitos requerem ações de médio prazo.

#### 4.1.4.2 Inspeção realizada na ponte nova

São descritas a seguir as condições atuais de cada elemento constituinte da ponte nova, assim como os principais danos ou anomalias identificados durante a inspeção.

##### A) Pista de Rolamento

O principal dano identificado nesta ponte refere-se a um leve degrau existente no encontro do tabuleiro com o terrapleno, que provoca desconforto ao motorista e acréscimo no impacto da carga accidental. Esse desnível se deve a um leve assentamento do aterro na pista de acesso, provavelmente amenizado pela existência de lajes de transição. Existiam ainda pequenas irregularidades e alguns remendos no pavimento. As juntas de dilatação se encontravam deterioradas, com rompimento parcial do berço, dos lábios poliméricos e do material de vedação. Observou-se a aplicação indevida de revestimento asfáltico sobre as juntas de dilatação deterioradas. Existiam detritos e vegetação no acostamento e sobre as juntas de dilatação, que propiciam o acúmulo de umidade, a biodeterioração do concreto e a obstrução de drenos. As barreiras de segurança estavam em bom estado de conservação, apresentando apenas algumas manchas escuras (fuligem atmosférica). A ausência de problemas de corrosão de armadura nas barreiras também pode ser atribuída à adoção de cobertura em conformidade com o projeto. As cortinas estavam em boas condições, apresentando apenas algumas manchas de infiltração. A Figura 4.16 mostra as condições da pista de rolamento, incluindo estrutura de contenção, dispositivos de sinalização e segurança viária.



(a) Vista geral da ponte – sentido Belo Horizonte – São Paulo.



(b) Vista geral da ponte – sentido São Paulo – Belo Horizonte.



(c) Remendo no pavimento.



(d) Desalinhamento da barreira New Jersey e degrau no encontro do tabuleiro com o terrapleno.



(e) Detalhe do desnível existente na junta de dilatação.



(f) Material de vedação deteriorado e reparo indevido com revestimento asfáltico.



(g) Junta deteriorada e acúmulo de detritos e vegetação no local.



(h) Acúmulo de detritos e vegetação nos bordos da pista.



(i) Dreno obstruído por detritos.



(j) Manchas de infiltração em uma cortina.

Figura 4.16 – Condições da pista de rolamento da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim.

## B) Superestrutura

A superestrutura da ponte nova apresentou somente danos relacionados ao parâmetro da durabilidade. Os principais danos também se concentraram nos balanços laterais da laje, onde existem diversos pontos de percolação de água pela face inferior da laje, em função do mau funcionamento de drenos e pingadeiras. Essa exposição indevida está causando a deterioração do concreto em alguns pontos da laje. Havia também uma falha de concretagem decorrente de serviços de recuperação executados anteriormente na face inferior da laje. Verificou-se a ocorrência de diversas fissuras de retração na laje e nas faces laterais das longarinas, que já foram recuperadas, mas em alguns locais houve reincidência com abertura máxima de 0,2 mm. Foi observado ainda o surgimento de manchas de eflorescência na face inferior de uma longarina. Nos ensaios de pacometria, verificou-se cobrimento insuficiente nas faces externa e inferior de uma das longarinas e nas transversinas. Na outra longarina e na laje, os cobrimentos de projeto foram respeitados. A Figura 4.17 mostra a situação em que se encontra a superestrutura desta ponte.



(a) Vista inferior do tabuleiro.



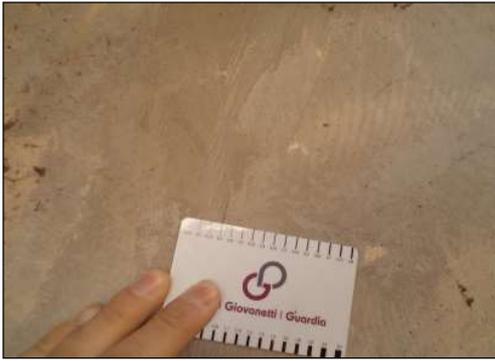
(b) Vista lateral da superestrutura.



(c) Marcas de fissuras nas vigas principais, que foram recuperadas.



(d) Idem foto anterior.



(e) Fissura que foi recuperada, mas apresenta nova abertura de 0,2 mm.



(f) Manchas de eflorescência na face inferior de uma longarina.



(g) Percolação de água sob a laje devido à falha na pingadeira.



(h) Percolação de água pela face inferior da laje, devido à falha no dreno.



(i) Concreto deteriorado na extremidade lateral da laje.



(j) Concreto deteriorado na face inferior da laje.

Figura 4.17 – Situação da superestrutura da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim.

### C) Mesoestrutura

Os elementos da mesoestrutura estavam em ótimas condições de conservação. Foi identificado apenas um deslocamento pontual com exposição de armadura em uma viga de contraventamento dos pilares, além de algumas manchas de infiltração. Embora não existam lesões na mesoestrutura relacionadas à corrosão de armadura, todos os pilares que foram submetidos ao ensaio de pacometria apresentaram baixas espessuras de cobrimento. A Figura 4.18 mostra a situação atual dos elementos da mesoestrutura.



(a) Vista dos pilares extremos no encontro próximo à cortina 2.



(b) Vista de um apoio intermediário.



(c) Deslocamento pontual, com corrosão de armadura, em uma viga de contraventamento dos pilares.



(d) Marcas de infiltração em viga de contraventamento dos pilares.

Figura 4.18 – Situação da mesoestrutura da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim.

#### D) Infraestrutura

A infraestrutura encontra-se aparentemente em bom estado de conservação, considerando que não há nenhum sinal de recalque ou deslocamento de fundação em toda a ponte. Foi detectado apenas um desgaste superficial, provocado por erosão, nos blocos de fundação e nas camadas de concreto que envolve as estacas que se encontravam aparentes. Embora não tenha sido previsto no projeto e não haja registro nos relatórios de execução, esse encamisamento, ao que tudo indica, trata-se de uma proteção para as estacas raiz que se encontram expostas e sujeitas ao desgaste devido ao contato com a água ou com detritos trazidos pelo rio. Foi identificada também a formação de redemoinhos nas proximidades das estacas, que podem provocar o seu solapamento. Por esse motivo, recomenda-se uma inspeção subaquática para monitoramento das condições da fundação. Com relação aos taludes dos encontros, os dois lados possuem proteção superficial em concreto e estão em perfeitas condições. Os principais danos identificados na infraestrutura desta ponte são mostrados na Figura 4.19.



(a) Desgaste superficial por erosão nos encamisamentos das estacas expostas e nos blocos de fundação



(b) Acúmulo de galhos e detritos nos blocos de fundação.

Figura 4.19 – Situação da infraestrutura da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim.

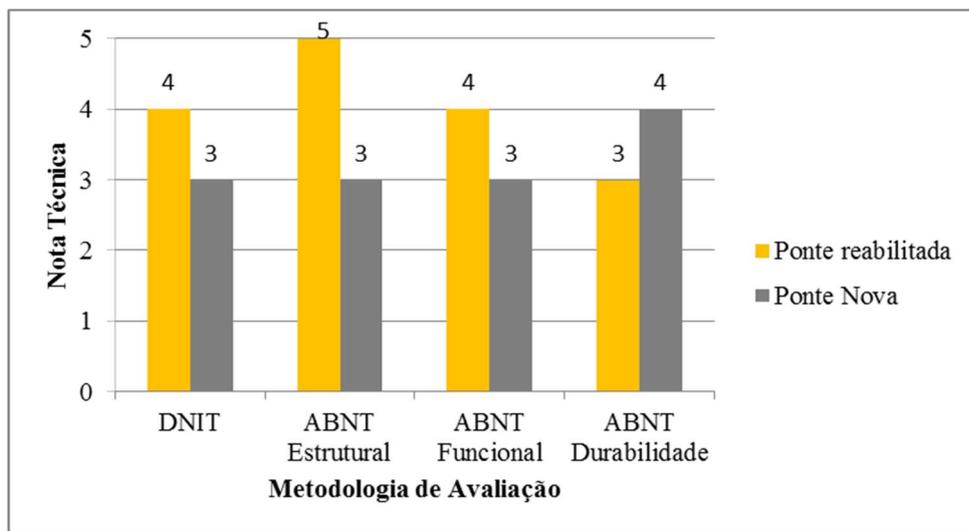
São apresentados no Quadro 4.6, para cada metodologia de avaliação adotada, a nota técnica atribuída, sua respectiva classificação e as ações corretivas recomendadas.

Quadro 4.6 – Resultados da inspeção da ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim.

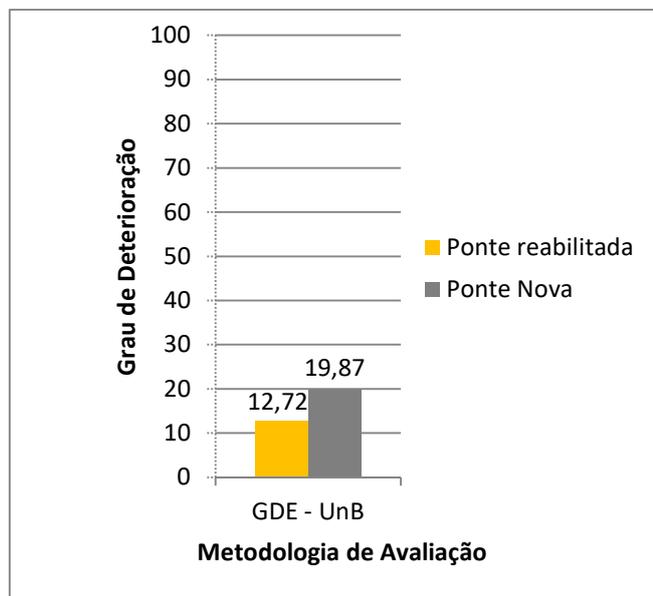
Metodologia	Nota Técnica	Classificação	Ação Corretiva
DNIT	3	Condição Boa aparentemente – obra potencialmente problemática.	A recuperação da obra pode ser postergada. Colocar o problema em observação sistemática.
GDE-UnB	19,87	Nível de deterioração médio.	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
ABNT (Estrutural)	3	Condição Regular - Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.
ABNT (Funcional)	3	Condição Regular - A OAE apresenta desconforto ao usuário.	Os defeitos requerem ações de médio prazo.
ABNT (Durabilidade)	4	Condição Boa - A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.

#### 4.1.5 Comparação entre as pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim

De maneira geral, as duas pontes apresentaram um desempenho satisfatório, não existindo nenhum dano significativo que possa afetar a sua integridade estrutural ou a sua funcionalidade. A Figura 4.20 demonstra, através de gráficos, as notas técnicas atribuídas a cada ponte, segundo diferentes metodologias de avaliação.



(a) Avaliação segundo metodologias DNIT e ABNT



(b) Avaliação segundo metodologia GDE-UnB.

Figura 4.20 – Notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim.

Observa-se uma convergência dos resultados em praticamente todas as comparações, onde as três metodologias adotadas se mostraram coerentes entre si. De acordo com as notas técnicas

atribuídas, a ponte reabilitada obteve melhores resultados que a ponte nova, com exceção do parâmetro durabilidade na avaliação segundo critérios da ABNT. Essa inversão não significa, no entanto, uma divergência de resultados, mas sim a avaliação de um único parâmetro pela metodologia da ABNT. As outras metodologias também consideram os mesmos danos que afetam a durabilidade da estrutura, porém atribuíram ao final uma nota única, que é influenciada por todos os tipos de defeitos. Pela metodologia da ABNT, pode-se também concluir que a ponte reabilitada apresentou melhor desempenho que a ponte nova, visto que obteve uma nota técnica maior no parâmetro estrutural, assim como no método de avaliação do DNIT.

De acordo com a metodologia do DNIT, para a ponte reabilitada recomenda-se apenas a realização de serviços de manutenção. Já a ponte nova, foi classificada como obra potencialmente problemática, sendo recomendado o seu monitoramento e sua recuperação em longo prazo. A anomalia que mais influenciou a nota técnica da ponte nova foi um leve degrau existente entre o tabuleiro e o terrapleno, na saída da ponte, que está gerando alguma insuficiência estrutural devido ao impacto dos veículos, além de desconforto para o usuário.

As notas técnicas da ponte nova, segundo os parâmetros estrutural e funcional da ABNT, também foram influenciadas negativamente por esse mesmo desnível existente na saída da ponte. Já a ponte reabilitada, obteve um resultado pior que a ponte nova no parâmetro da durabilidade, influenciado principalmente pelas armaduras aparentes na face inferior das longarinas. Essa falha já havia sido apontada na inspeção realizada no ano de 2000, antes das intervenções de alargamento e reforço dessa ponte, mas não foram adotadas as soluções recomendadas nos laudos de inspeção e previstas no projeto de recuperação. É importante ressaltar que, mesmo apresentando armaduras expostas, não foram identificados pontos de corrosão de armaduras nas longarinas, o que pode ser atribuído à eficiência do produto anticorrosivo aplicado nas armaduras aparentes, associada à baixa agressividade ambiental. De acordo com as classificações obtidas por esta metodologia, foram recomendadas ações de médio prazo para correção das anomalias que afetam a durabilidade da ponte reabilitada e também para os defeitos identificados na ponte nova.

As notas atribuídas pelo critério de avaliação da metodologia GDE-UnB retratam bem a situação das duas pontes, que apresentam resultados semelhantes, porém com uma leve vantagem para ponte reabilitada. Essa diferença foi influenciada principalmente pelo mau

estado de conservação das juntas de dilatação da ponte nova. Apesar da proximidade das notas técnicas das duas pontes, elas foram enquadradas em diferentes níveis de deterioração segundo esta metodologia. Isso ocorreu porque a escala da classificação em que se enquadra a ponte reabilitada vai de zero a quinze e a próxima vai de quinze a cinquenta, ou seja, ambas encontravam-se muito próximas a esta transição. Por consequência dessa classificação distinta, foram recomendados apenas serviços de manutenção para a ponte reabilitada e intervenções de recuperação em longo prazo para a ponte nova.

Embora as três metodologias tenham apresentado resultados condizentes com a realidade, a metodologia GDE-UnB se mostrou uma ótima ferramenta para comparação de desempenho entre as duas pontes, pois a nota final trata-se de um somatório de todos os defeitos, levando-se em consideração o tipo de dano, sua importância para o elemento, sua intensidade e a relevância estrutural do elemento afetado. Além fornecer resultados confiáveis, essa metodologia produz notas técnicas mais escalonadas, permitindo a comparação até mesmo entre pontes com desempenhos semelhantes.

Apesar de ter apresentado um ótimo desempenho, a ponte reabilitada poderia ter obtido resultados ainda melhores se todos os procedimentos de recuperação previstos tivessem sido executados em conformidade com o projeto, sobretudo a aplicação de camada de argamassa nas faces inferiores das longarinas. O bom desempenho dessa ponte pode ser atribuído, além do sucesso das intervenções de reabilitação, à manutenção satisfatória que vem sendo realizada pela concessionária responsável por este segmento da rodovia desde 2008. Como podem ser constatados nas inspeções anteriores, danos surgiram e foram sanados ao longo dos anos, contribuindo para o aumento da vida útil de ambas as pontes. Além disso, a solução adotada para reforço da superestrutura com protensão externa das longarinas e protensão transversal da laje certamente contribuiu para o aumento da sua vida útil, ao aplicar força de compressão nesses elementos que eliminou as fissuras existentes e evitou o surgimento de novas fissuras no concreto e conseqüentemente a penetração de agentes deletérios.

As intervenções de alargamento do tabuleiro com protensão transversal da laje foram satisfatórias, visto que não houve nenhum tipo de dano na superestrutura em função do alargamento e nenhum dano nos elementos de protensão. As intervenções de reforço também podem ser consideradas bem-sucedidas, tendo em vista a ponte não apresentou nenhum dano de natureza estrutural e os elementos de reforço (blocos, vigas e cabos de protensão)

encontram-se em perfeito estado de conservação. Além disso, o reforço dos pilares extremos com aumento de seção transversal contribuiu para o tratamento dos danos existentes e aumentou sua vida útil ao incorporar novas armaduras e espessura de cobrimento adequada.

Considerando o sucesso das intervenções de alargamento e reforço estrutural, somado ao bom desempenho geral da ponte, neste caso a reabilitação da ponte pode ser considerada eficaz. No entanto, o projeto de recuperação poderia ter sido mais abrangente, com previsão de intervenções de recuperação em todos os elementos que não receberam reforço estrutural com aumento de seção transversal. Um tratamento adequado de todos os elementos garantiria um acréscimo da vida útil da ponte como um todo e conseqüentemente um resultado similar a uma ponte nova também em relação ao parâmetro da durabilidade.

Existiram anomalias comuns às duas pontes no que se refere ao sistema de drenagem, que em muitos casos se mostrou ineficiente, permitindo a percolação de água pela face inferior da laje nos balanços laterais. Esse mau funcionamento de pingadeiras e drenos vem causando a deterioração do concreto na face inferior da laje nos balanços laterais. Além disso, as juntas de dilatação de ambas as pontes apresentam danos que comprometem a durabilidade da estrutura e causam desconforto aos motoristas. Esses danos nas juntas de dilatação foram detectados desde as inspeções ocorridas em 2013, apesar de terem sido substituídas no ano anterior, o que demonstra a necessidade de uma fiscalização mais eficiente, que garanta uma melhor qualidade dos serviços de reparos desses dispositivos.

Analisando os dados obtidos durante as inspeções e considerando o nível de deterioração de cada ponte, verifica-se que a ponte reabilitada teve um desempenho ligeiramente superior à ponte nova que foi construída ao lado. Portanto, pode-se concluir que neste caso o aproveitamento da estrutura existente se mostrou bastante viável sob o ponto de vista da durabilidade, considerando ainda que os principais danos identificados na ponte reabilitada não se tratavam de reincidência de problemas patológicos tratados durante a obra ou falha nas intervenções de alargamento e reforço.

## 4.2 Pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme

As pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme estão localizadas na rodovia BR-262, km 369+500 m, no município de Juatuba, em Minas Gerais. Tem como subtrecho o entroncamento com a MG-050 (p/ Mateus Leme) até o acesso ao município de Florestal, sob o código 262BMG0670 no Sistema Nacional de Viação – SNV de 2016, com volume médio de tráfego na ordem de 8.750 veículos por dia. A Figura 4.21 mostra uma vista geral das pontes avaliadas.



Figura 4.21 – Foto das pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme. À esquerda a ponte antiga reabilitada e à direita a ponte nova.

A Rodovia BR-262 é uma rodovia federal brasileira que se inicia na capital do Espírito Santo, atravessa os estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul e termina na fronteira com a Bolívia, no Município de Corumbá/MS. Possui ao todo 2.315,7 quilômetros de extensão, dos quais 196,4 estão no estado do Espírito Santo, 1014,1 em Minas Gerais, 322,1 em São Paulo e 783,1 no Mato Grosso do Sul, (DNIT, 2017). Esta rodovia era denominada BR-31 pelo sistema antigo de numeração de rodovias federais, passando a ser chamada de BR-262 a partir de 1964. Atualmente encontra-se privatizada no trecho compreendido entre os municípios de Betim e Pouso Alto, no estado de Minas Gerais, onde estão inseridas as pontes avaliadas neste estudo. Essa concessão teve início em março de 2014 e abrange 546,3 quilômetros da rodovia, sob responsabilidade da empresa Triunfo Concebra. A Figura 4.22 mostra a localização da rodovia BR-262 e das pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme.

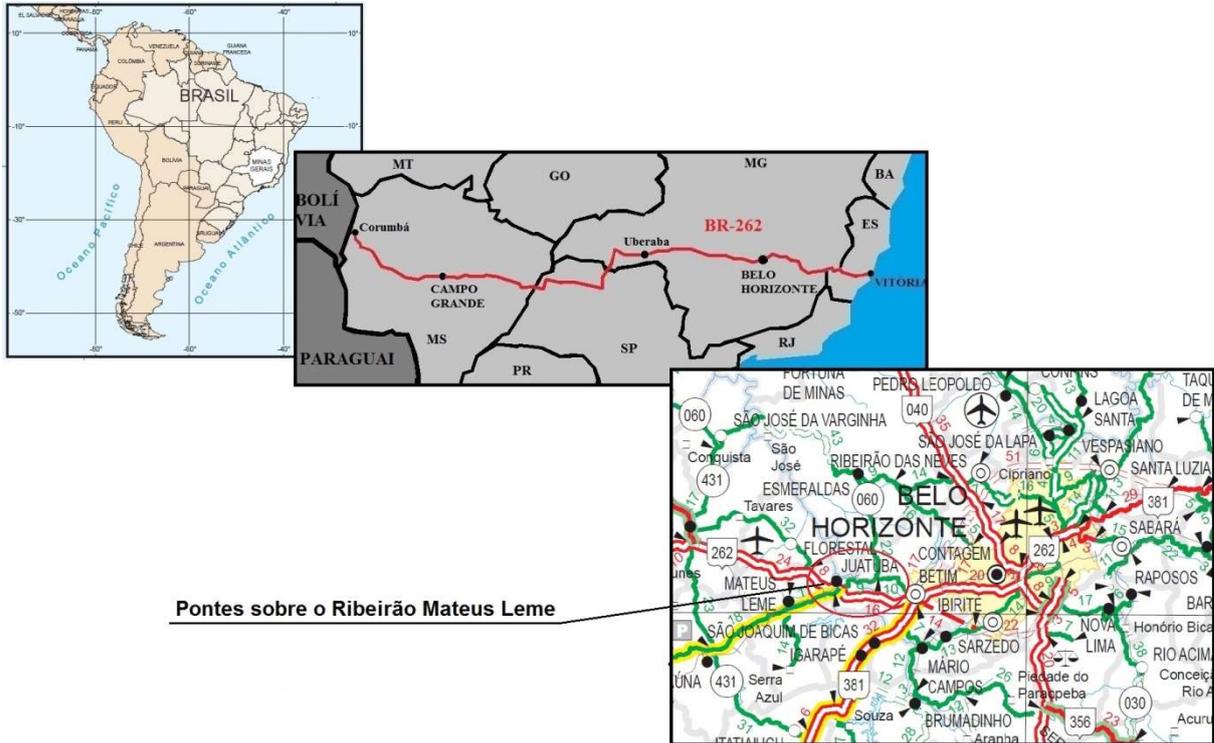


Figura 4.22 – Localização das pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme. (a) Localização do Brasil, (b) Traçado da rodovia BR-262, (c) Localização do município de Juatuba e das pontes. Fontes: Adaptado de (a) Portal de Pesquisas Temáticas e Educacionais, 2017 (b) Wikimedia Commons, (c) DNIT, 2013.

#### 4.2.1 Ponte Reabilitada

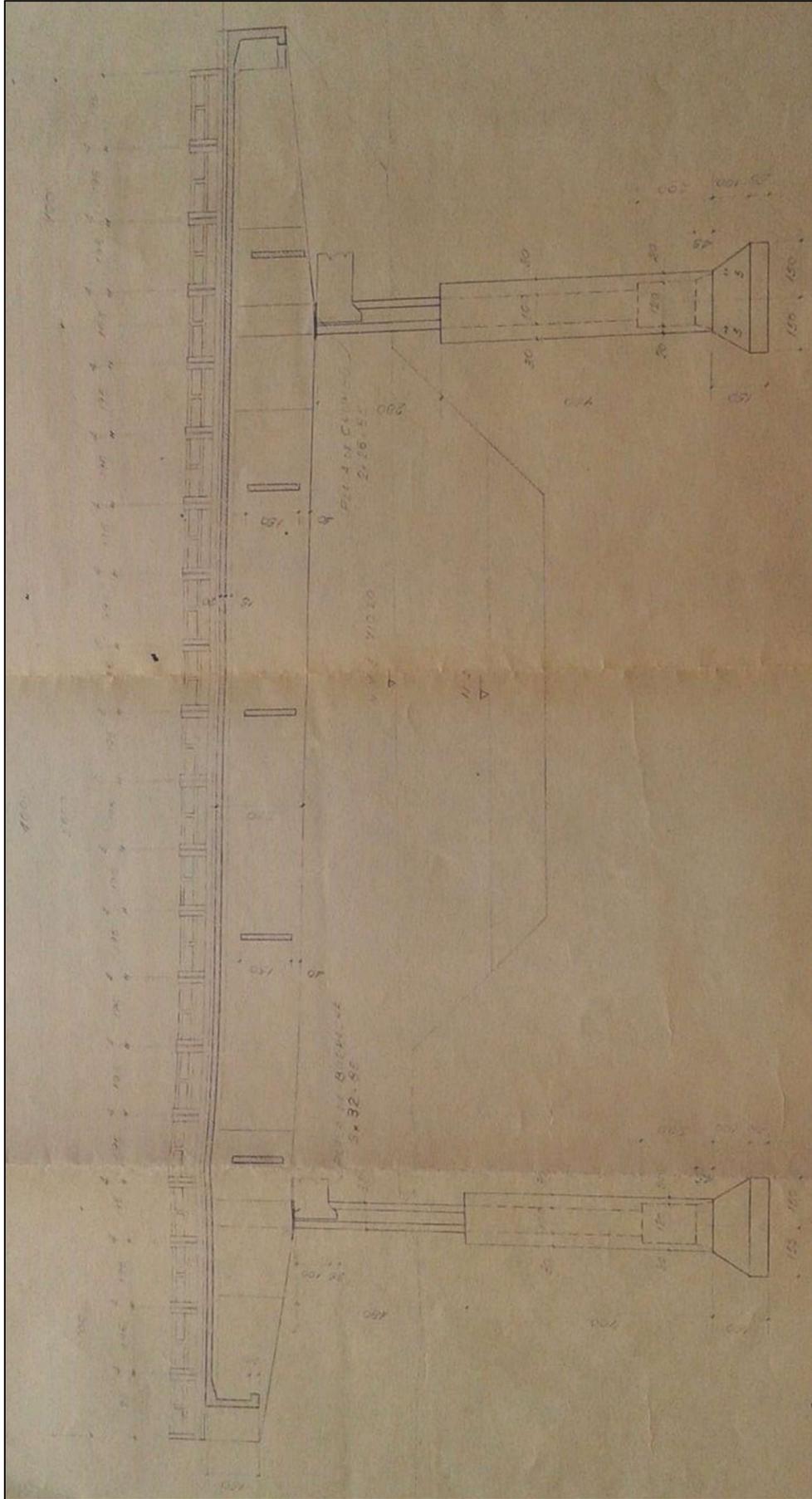
##### 4.2.1.1 Descrição da ponte original

A ponte original, Classe 36 toneladas, foi projetada em 1962 pelo extinto DNER. Foi dimensionada de acordo com as normas vigentes à época (NB-1/1960, NB-2/1960 e NB-6/1960), conforme histórico de evolução apresentado no Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004a). As principais características dessa ponte estão descritas no Quadro 4.7.

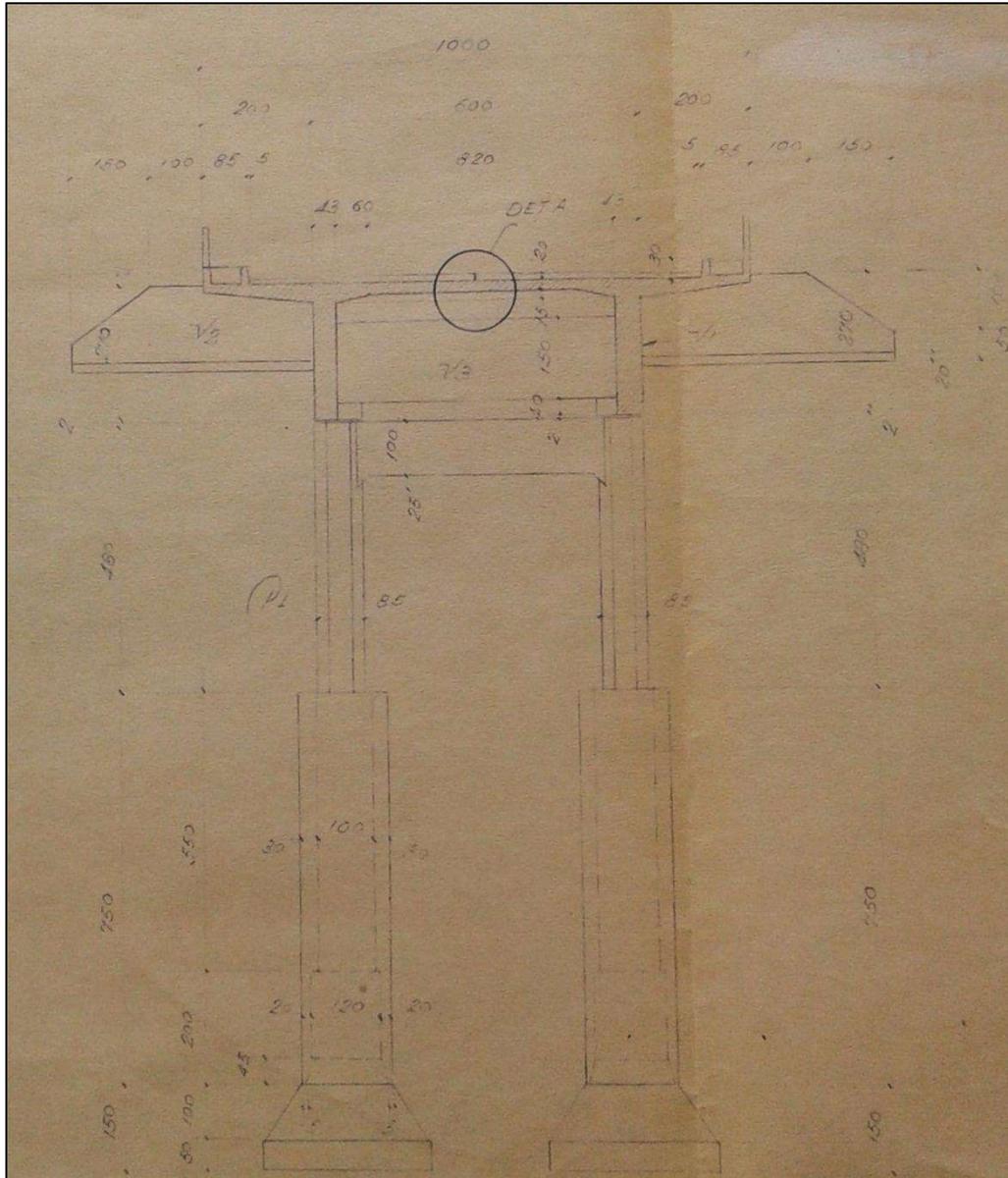
Quadro 4.7– Principais características do projeto original da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme.

<b>Materiais</b>	
<p>Todos os elementos em concreto armado.</p> <p>Aparelhos de apoio móveis formados por placas de borracha na primeira linha de apoio e placas de chumbo na segunda linha.</p> <p>Revestimento asfáltico da pista.</p> <p>Drenos de PVC inclinados, diâmetro de 3 polegadas, nos dois lados da ponte.</p>	
<b>Região</b>	
Obra situada em região ondulada.	
<b>Dados Geométricos</b>	
Ponte ortogonal ao ribeirão e tangente à rodovia.	
Comprimento Total	40,0 metros com um vão de 26,00 m, além de dois balanços de 7,0 m nas extremidades.
Largura total	10,00 m com duas pistas de 3,50 m.
Acostamento	Não possui.
Guarda-rodas	Dois guarda-rodas com seção transversal de 90 x 30 cm.
Guarda-corpo	Em concreto vazado, de 15 x 85 cm sobre os guarda-rodas.
Laje	Maciça, com espessura de 20 cm no meio do vão.
Longarinas	Duas longarinas, com seção transversal variável de 43 x 85 a 270 cm.
Transversinas	Seis transversinas, com seção transversal de 20 x 150 cm.
Pilares	Dois pares de pilares com diâmetro de 85 cm, unidos por vigas de contraventamento no topo.
Fundação	Profunda, composta por 4 tubulões de concreto armado, com diâmetro de 160 cm no fuste e 300 cm na base.
Laje de transição	Não possui.
Encontros	Não possui (Contenção do aterro através de cortinas e alas).
Cortina	Seção transversal de 20 x 150 cm.

A Figura 4.23 mostra a vista longitudinal e o corte transversal com as características geométricas da concepção da ponte original.



(a) Vista longitudinal da ponte.



(b) Corte transversal sobre a primeira linha de apoios pilares.

Figura 4.23 – Características geométricas da ponte original sobre o Ribeirão Mateus Leme. (Projeto DNER, 1962).

#### 4.2.1.2 Situação da ponte antes das intervenções de reabilitação

As inspeções rotineiras começaram a ser realizadas neste segmento somente após o início da concessão ocorrida em 2014. No período que antecede as obras de duplicação da rodovia BR-262, o Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais do DNIT ainda não estava em pleno funcionamento, contemplando apenas 25% das pontes da malha rodoviária federal (TCU, 2012). Além disso, o projeto de recuperação da ponte antiga não apresenta de forma clara o diagnóstico dos problemas patológicos que possivelmente existiam antes das intervenções, indicando apenas soluções padrão para serem executadas onde fosse necessário,

sem detalhar o tipo, a localização, a extensão e a intensidade de cada dano. Portanto, neste caso não foi possível conhecer o estado em que se encontrava a ponte antiga antes da reabilitação, visto que não foram identificadas inspeções que tenham sido realizadas antes das intervenções.

#### 4.2.1.3 Procedimentos de alargamento e reforço estrutural

O projeto de alargamento e reforço foi elaborado pela empresa Ecoplan Engenharia, em outubro de 2006 e os serviços foram executados pela empresa Torc - Terraplenagem Obras Rodoviárias Construções Ltda, no período de julho de 2009 a julho de 2011, ambos contratados pelo DNIT.

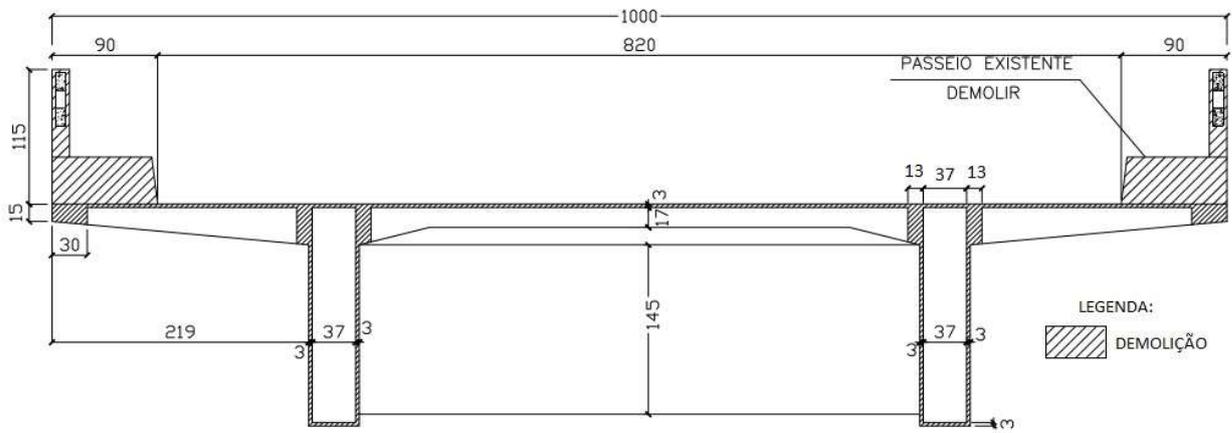
As intervenções de reabilitação da ponte tiveram por objetivo atender às novas exigências da rodovia BR-262 que passava por obras de duplicação. O projeto previa o alargamento da ponte, aumentando sua largura total de 10,0 para 11,70 metros, que correspondia à largura de cada pista após a duplicação (duas faixas de rolamento e acostamento). Foi previsto também o reforço estrutural da ponte visando readequá-la para o trem-tipo TB-45 (450 kN), a substituição dos aparelhos de apoio, do pavimento e das juntas de dilatação, o alargamento das cortinas e a troca dos guarda-rodas e guarda-corpos por barreiras de segurança do tipo New Jersey, além de intervenções de recuperação da estrutura existente.

##### A) Alargamento e reforço da superestrutura

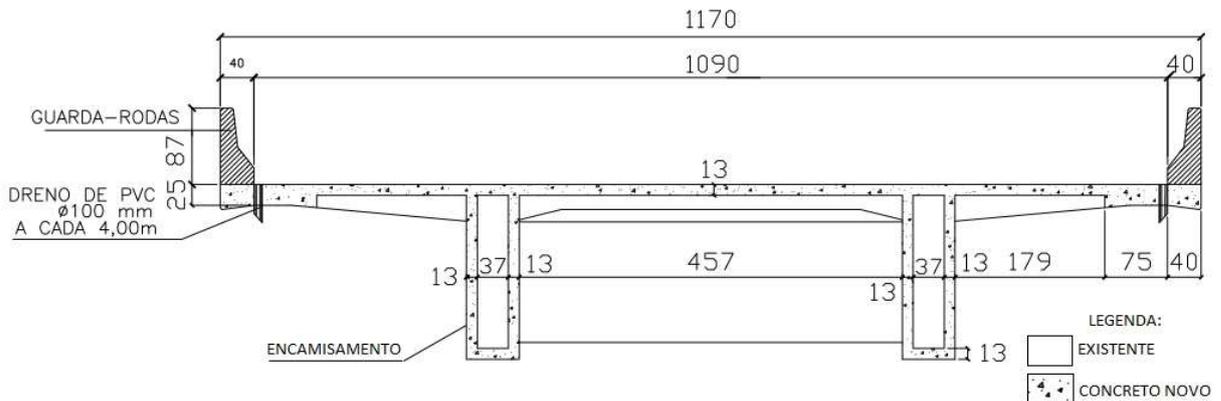
O método de alargamento adotado consistiu no aumento da largura da laje existente, sem a adição de novos apoios e de novas vigas ao tabuleiro, utilizando-se apenas concreto armado convencional. O reforço da superestrutura baseou-se no aumento da seção transversal dos elementos estruturais com acréscimo de armaduras (engrossamento das longarinas e adição de sobrelaje). Detalhes do projeto de alargamento e reforço da superestrutura são apresentados na Figura 4.24.

O projeto previa inicialmente a demolição dos guarda-corpos, dos guarda-rodas e de 30 cm nas extremidades das lajes em balanço nas laterais da ponte, além do apicoamento de 3 cm na superfície superior da laje e nas faces das duas longarinas, com objetivo de preparar a superfície, mantendo-a com aspereza suficiente para possibilitar a aderência do novo material

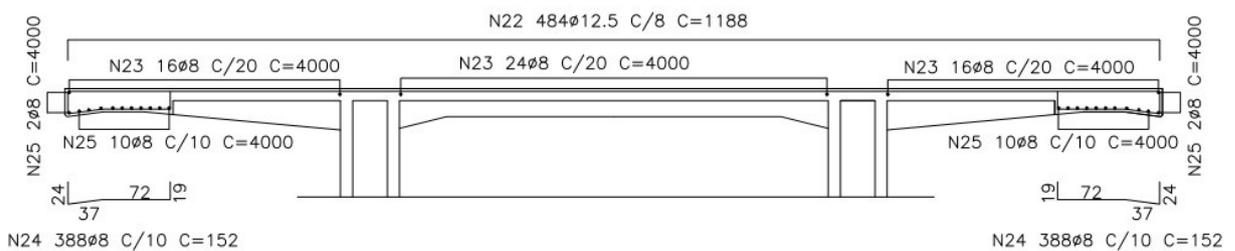
do reforço com o concreto velho. Em seguida, foi executada a concretagem de uma sobrelaje com espessura de 13 cm, juntamente com a nova laje cuja largura era de 1,15 m em cada lado da ponte (30 cm demolido + 85 cm do alargamento), as novas barreiras New Jersey e o reforço de 13 cm nas faces laterais e 13 cm na face inferior das longarinas. A resistência característica à compressão do concreto utilizado neste reforço era de 30 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. Foram instalados drenos de PVC com diâmetro de 100 mm a cada 4,0 metros, nos dois lados da ponte.



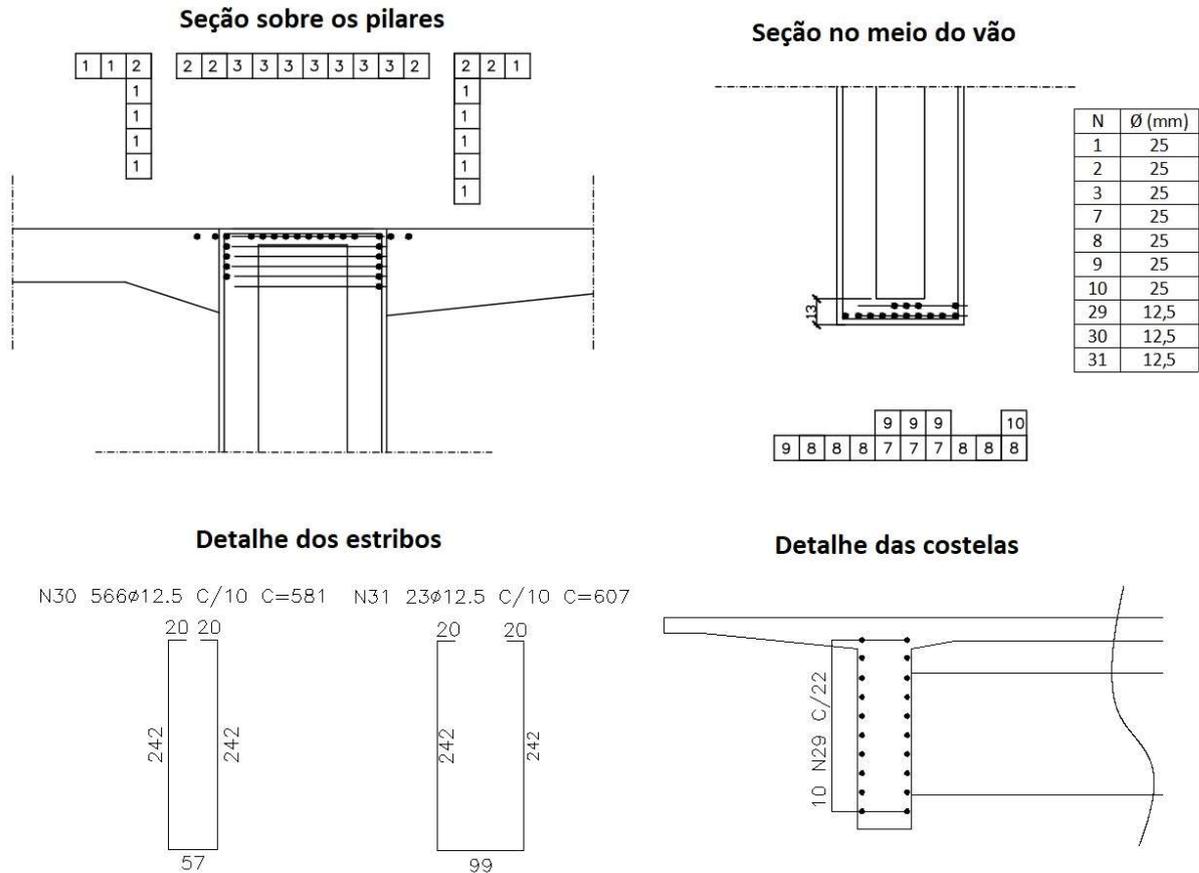
(a) Projeto de demolição.



(b) Projeto de forma e concretagem.



(c) Detalhes das armaduras do alargamento da laje e da sobrelaje.



(d) Detalhes das armaduras do reforço da longarina.

Figura 4.24 – Detalhes do projeto de alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme (DNIT, 2006).

A Figura 4.25 apresenta algumas fotos da execução do alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme.



(a) Demolição do pavimento e apicoamento da laje.

(b) Apicoamento e demolição do concreto na laje e nas longarinas.

(c) Execução do concreto projetado no reforço da longarina.

Figura 4.25 – Execução do alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme.

## B) Reforço da mesoestrutura

O reforço dos pilares foi realizado também com aumento da seção transversal. O procedimento previa o apicoamento da superfície de concreto, colocação de armadura adicional e concretagem da camada de reforço com 13 cm de espessura em cada face, cuja resistência característica à compressão era de 25 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. Foram implantados consoles nos topos dos pilares com objetivo de apoiar os macacos hidráulicos que foram utilizados para a substituição dos aparelhos de apoio. Os novos aparelhos de apoio instalados são móveis do tipo neoprene fretado, com espessura de 39 mm e dimensões de 45 x 60 cm. A Figura 4.26 mostra detalhes do projeto de reforço dos pilares.

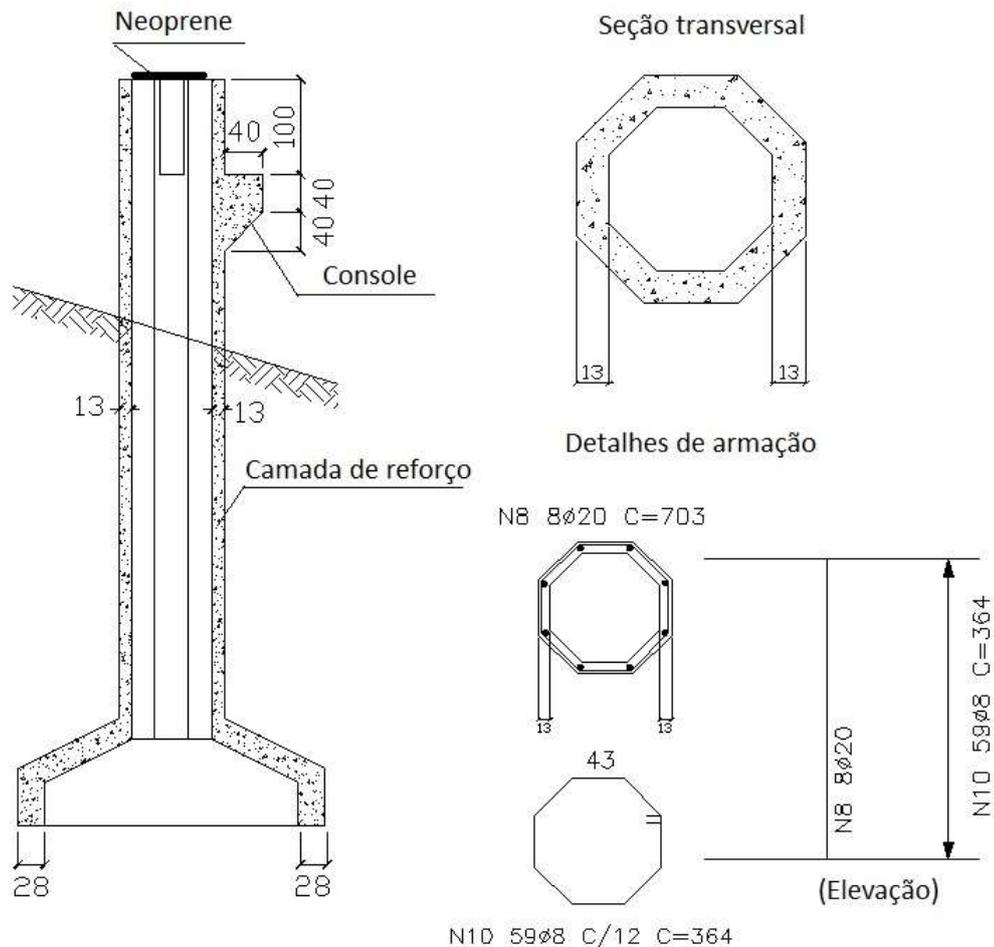


Figura 4.26 – Detalhes do reforço dos pilares da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme (DNIT, 2006).

A Figura 4.27 mostra detalhes da execução da troca de aparelhos de apoio e do reforço dos pilares.



Figura 4.27 – Detalhes da execução da troca de aparelhos de apoio e do reforço dos pilares da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme.

### C) Reforço da infraestrutura

Os tubulões foram reforçados com o aumento da seção transversal de suas bases, conforme Figura 4.28.

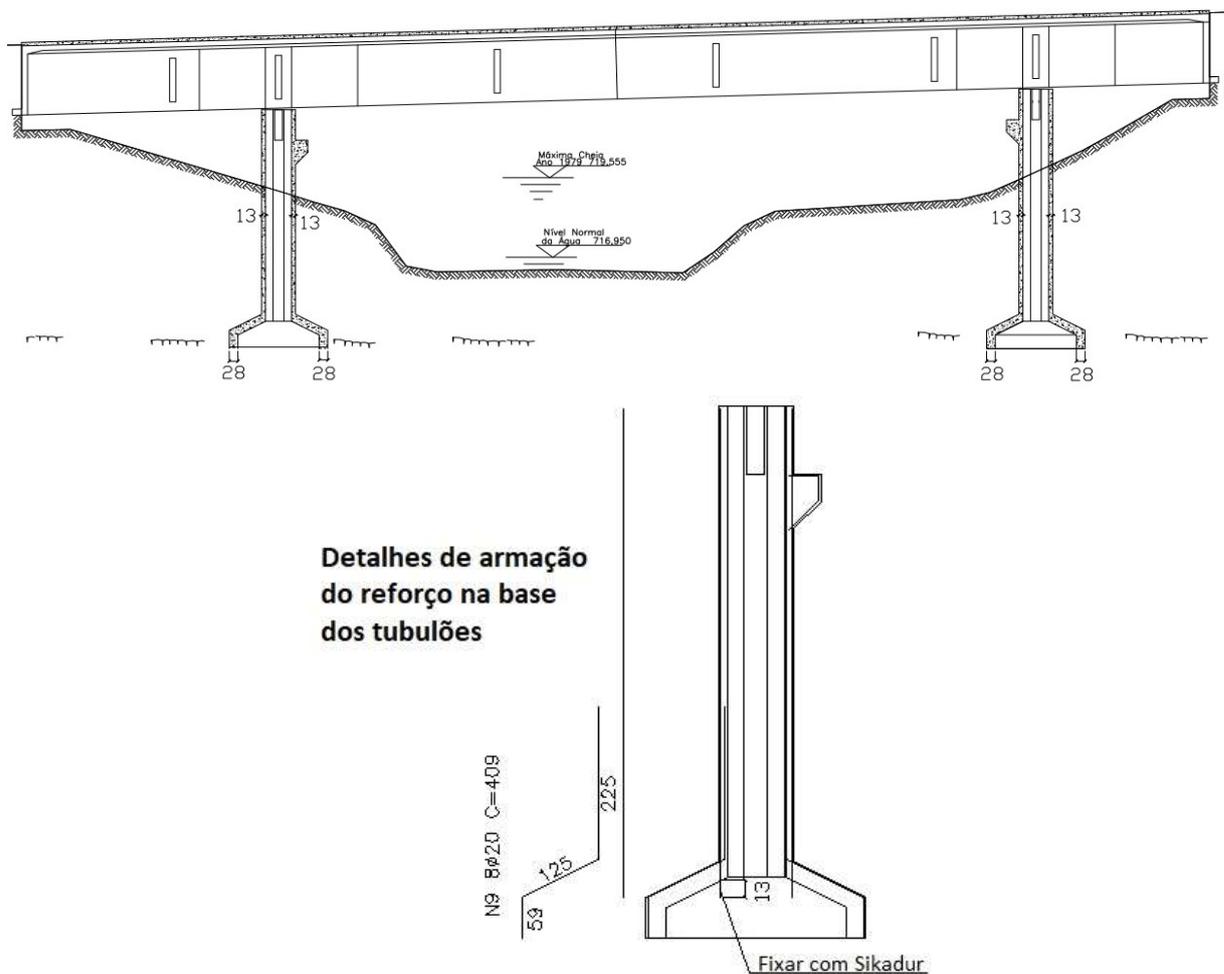


Figura 4.28 – Detalhes do reforço da infraestrutura da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme (DNIT, 2006)

#### D) Procedimentos de recuperação da estrutura existente

Além das intervenções de alargamento e reforço estrutural, o projeto de reabilitação previu dois procedimentos para recuperação da estrutura existente: recuperação de fissuras na face inferior das lajes e recuperação das transversinas e cortinas. Esses procedimentos foram previstos para elementos que não foram reforçados e somente onde fosse necessário.

Para a recuperação das fissuras na face inferior das lajes, foi recomendada a seguinte sequência executiva: abertura de sulcos, execução de furos ao longo das fissuras com diâmetro de 12,5 mm, limpeza dos sulcos com ar comprimido, fixação de tubos plásticos, calefação das fissuras e injeção de resina acrílica. A sequência executiva para a recuperação das transversinas e cortinas era: escarificação manual e corte de concreto, lixamento manual e/ou elétrico das armaduras, proteção das armaduras com tinta com alto teor de zinco, limpeza do substrato com ar comprimido, preparação da ponte de aderência com adesivo de base acrílica, aplicação de argamassa polimérica para reconstituição com espessura de até 5 cm e aplicação de membrana de cura química.

#### 4.2.2 Ponte Nova

##### 4.2.2.1 Descrição da ponte nova

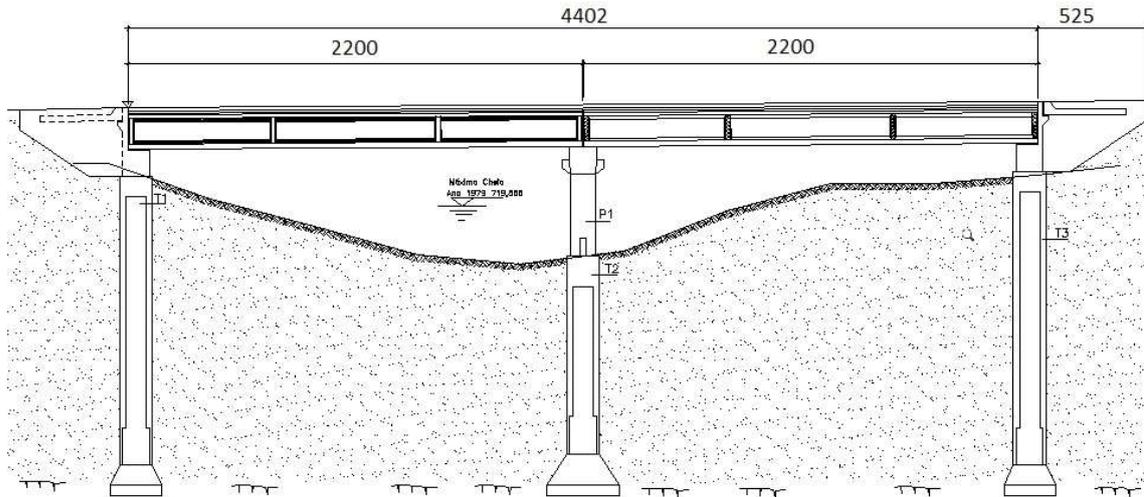
A ponte nova, Classe 45 toneladas, foi projetada em 2006 pela empresa Ecoplan Engenharia, contratada pelo DNIT para a elaboração dos projetos de duplicação da rodovia BR-262 entre os municípios de Betim e Nova Serrana. A obra foi executada pela empresa Torc - Terraplenagem Obras Rodoviárias Construções Ltda, no período de abril de 2009 a maio de 2010, servindo como desvio de tráfego durante as obras de reabilitação da ponte existente e a partir de julho de 2011 passou a integrar a rodovia duplicada. As principais características dessa ponte estão descritas no Quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Principais características do projeto da Ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.

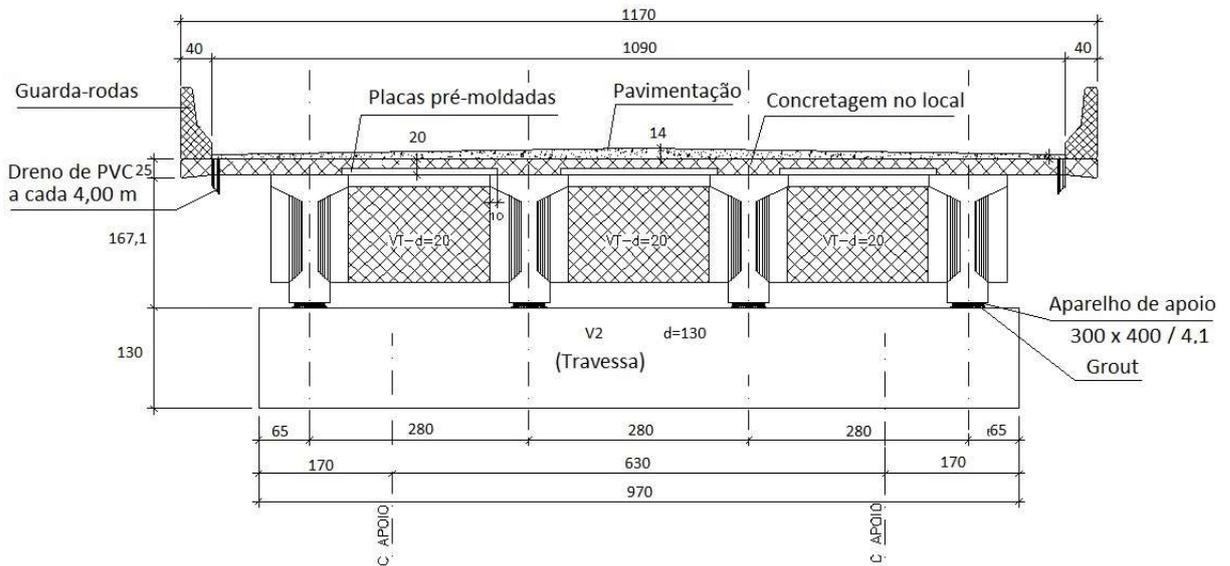
<b>Materiais</b>
Vigas principais pré-moldadas protendidas e os demais elementos em concreto armado. 16 aparelhos de apoio móveis do tipo neoprene fretado com espessura de 4,1 cm e dimensões

de 30 x 40 cm (quatro em cada encontro e oito na travessa do apoio central). Juntas de dilatação do tipo Jeene – JJ 2540 W ou similar nos encontros. Revestimento asfáltico da pista com 14 cm de espessura no meio da seção. Drenos de PVC com diâmetro de 100 mm a cada 4,0 m, nos dois lados da ponte.	
<b>Região</b>	
Obra situada em região ondulada.	
<b>Dados Geométricos</b>	
Ponte ortogonal ao ribeirão e tangente à rodovia.	
Comprimento Total	44,0 metros com dois vãos de 22,0 metros.
Largura total	11,70 m com duas faixas de rolamento e acostamento.
Acostamento	Sim
Guarda-rodas	Barreiras de segurança do tipo New Jersey.
Guarda-corpo	Não possui.
Laje	Maciça, com espessura de 20 cm, concretada sobre pré-lajes.
Longarinas	Quatro longarinas pré-moldadas protendidas, seção I, com dimensões de 52cm (mesa inferior), 100 cm (mesa superior) e 160 cm de altura, apoiadas em uma travessa (sobre o apoio central) e dois encontros.
Transversinas	Oito transversinas, com seção transversal de 20 x 125 cm.
Pilares	Apoio central formado por dois pilares, ligados por vigas de contraventamento em sua base, com seção de 20 x 100 cm. Os pilares possuem seção transversal circular, com diâmetro de 120 cm.
Fundação	Profunda, composta por seis tubulões com diâmetro de 160 cm no fuste. Os tubulões sob o apoio central possuem uma base alargada com 350 cm de diâmetro e os demais possuem uma base alargada de 250 cm.
Laje de transição	Seção transversal de 400 cm x 25 cm.
Encontros	São formados por vigas com dimensões de 130 cm x 130 cm, cada uma apoiada em dois tubulões, além da parede que faz a função de contenção do talude de aterro e serve de apoio para a laje de transição.
Cortina	Incorporada à estrutura do encontro. Possui também alas nas extremidades.

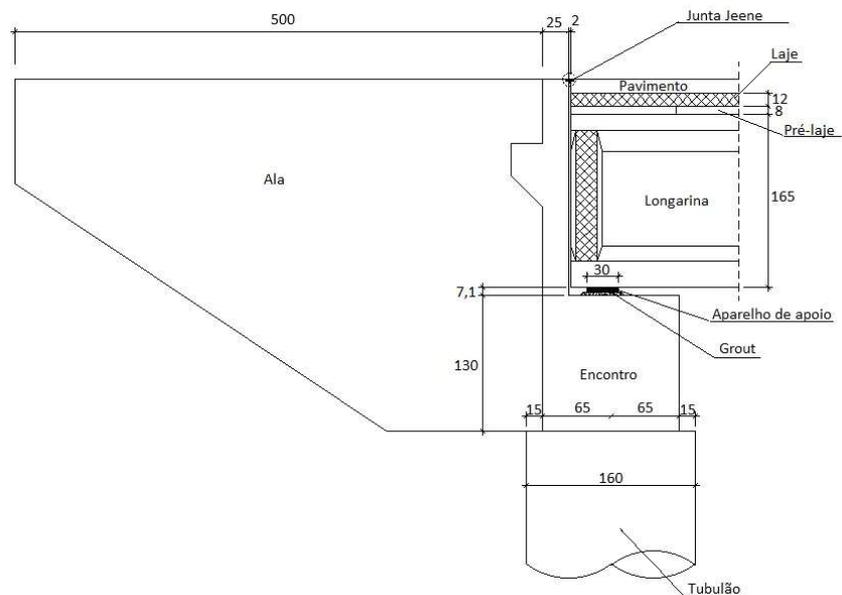
A Figura 4.29 mostra detalhes de projeto, com as principais características geométricas da ponte nova.



(a) Vista longitudinal da ponte nova.



(b) Seção transversal da ponte nova.



(c) Detalhes dos encontros.

Figura 4.29 – Detalhes de projeto da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme (DNIT, 2006)

A Figura 4.30 apresenta algumas fotos da execução da ponte nova.



(a) Execução da infraestrutura. (b) Lançamento das vigas principais pré-moldadas. (c) Tabuleiro concluído.

Figura 4.30 – Execução da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.

#### 4.2.3 Inspeções anteriores

Após a conclusão das obras de duplicação da rodovia, as primeiras inspeções foram realizadas pela concessionária Triunfo-Concebra, responsável pela concessão deste segmento da rodovia BR-262 a partir de março de 2014. Foi realizada uma inspeção cadastral em 11 de abril de 2014 e inspeções rotineiras são realizadas anualmente. Os principais danos identificados nas inspeções já realizadas são apresentados no Quadro 4.9.

Quadro 4.9 – Principais danos identificados nas inspeções já realizadas.

Ponte	Ano	Danos Identificados
Reabilitada	2014	Diminuição da seção transversal da via, devido à criação de um passeio para pedestres no local onde seria o acostamento, separado da pista por uma barreira New Jersey, causando risco de colisão frontal; Vegetação sem manutenção; Cabeça do pilar necessita reparo; Passeio com detritos.
Reabilitada	2015	Proteção vegetal insuficiente nos taludes; Problemas no sistema de drenagem e infiltrações nos encontros; Trincas nas alas; Concreto deteriorado nas barreiras de segurança; Problemas de manutenção em pingadeira e drenos.
Reabilitada	2016	Proteção vegetal insuficiente nos taludes.
Nova	2014	Estreitamento de pista devido aos mesmos motivos citados para a ponte reabilitada; Ausência de pingadeiras nos balanços laterais; Vegetação sem manutenção; Passeio com detritos.
Nova	2015	Proteção vegetal insuficiente nos taludes; Problemas no sistema de drenagem e infiltrações nos encontros; Trincas nas alas; Concreto deteriorado nas barreiras de segurança; Problemas de manutenção em drenos e ausência de pingadeiras.
Nova	2016	Proteção vegetal insuficiente nos taludes.

A concessionária adota a metodologia do DNIT para a avaliação das pontes sob sua responsabilidade. Para cada ponte inspecionada, são atribuídas notas técnicas de acordo com os critérios estabelecidos pela norma DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b). A Figura 4.31 demonstra, através de um gráfico, a evolução das notas técnicas atribuídas às duas pontes nas inspeções realizadas no período de 2014 a 2016.

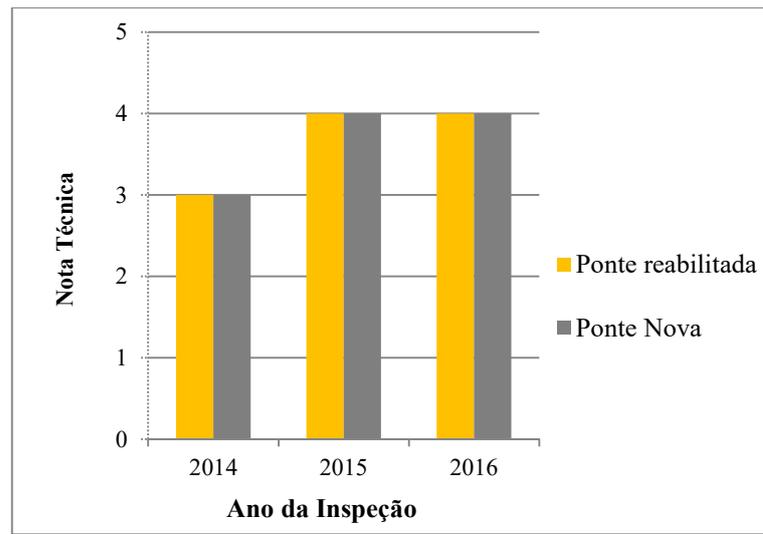


Figura 4.31 – Evolução das notas técnicas atribuídas às pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme, de acordo com a norma DNIT 010/2004.

Verifica-se no gráfico que as duas pontes sempre tiveram desempenhos semelhantes, sendo que suas notas técnicas foram igualmente aumentadas no segundo ano de avaliação e nas duas últimas avaliações ambas tiveram suas notas mantidas. Ao comparar os dados dos relatórios de inspeção, verifica-se que não constam informações relativas a intervenções que tenham sido realizadas pela concessionária após o segundo ano de avaliação que pudessem justificar a elevação das suas notas técnicas. Assim, pode-se concluir que o aumento das notas técnicas nas duas últimas avaliações em relação à primeira não está relacionado a uma melhora real das condições de conservação das pontes, mas sim ao caráter subjetivo da metodologia de avaliação do DNIT, onde a avaliação pode variar conforme a interpretação de cada inspetor.

#### 4.2.4 Resultado das inspeções realizadas em 2017

As pontes foram vistoriadas no dia 27 de dezembro de 2017, sete anos e sete meses após a construção da ponte nova e seis anos e cinco meses após as intervenções de alargamento e reforço da ponte antiga. Foram realizadas inspeções visuais, seguindo os critérios

estabelecidos pelas normas NBR 9452 (ABNT, 2016) e DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b) e pela metodologia GDE-UnB (VERLY, 2015), com o objetivo de avaliar o estado atual das duas pontes. Foram realizados também ensaios não destrutivos apenas para verificação do cobrimento das armaduras, por meio de um equipamento detector de metais da marca Bosh, modelo D-tect 150 Professional. As fichas de inspeção e os resultados dos ensaios de pacometria são apresentados, nos apêndices B e F deste trabalho, respectivamente.

#### 4.2.4.1 Inspeção realizada na ponte reabilitada

São descritas a seguir as condições atuais de cada elemento constituinte da ponte reabilitada, assim como os principais danos ou anomalias identificados durante a inspeção.

##### A) Pista de Rolamento

Conforme já havia sido relatado em inspeções anteriores, há um estreitamento de pista na ponte devido à existência de um passeio de pedestres no local onde, segundo o projeto, deveria haver a continuidade do acostamento. O pavimento estava em boas condições, existindo apenas alguns pequenos buracos e remendos sobre as juntas de dilatação, que geram certo desconforto para os usuários da rodovia. Essas juntas estavam completamente obstruídas pelo revestimento asfáltico, impedindo a livre movimentação da superestrutura da ponte e propiciando o acúmulo de umidade e a deterioração do material de vedação. As barreiras de segurança e guarda-corpo estavam em bom estado de conservação. Ocorreram apenas manchas e alguns deslocamentos pontuais nas barreiras e algumas fissuras e falhas de concretagem pontuais nos guarda-corpos. Por meio do ensaio de pacometria, verificou-se a adoção de cobrimentos de armadura em conformidade com o projeto nas barreiras de segurança, o que pode justificar a ausência de problemas de corrosão de armadura. As cortinas e alas apresentaram manchas e alguns pontos de corrosão de armadura. Existia um acúmulo de água considerável no piso da passarela, em função de uma falha no sistema de drenagem da ponte, que não consegue escoar toda a água pluvial. Esse acúmulo traz riscos ao pedestre que precisa transitar sobre esse piso alagado, além de prejuízos à durabilidade da laje da ponte devido à infiltração dessa água parada. Já na pista de rolamento, verificou-se o acúmulo de detritos no acostamento e crescimento de vegetação, sobretudo nas juntas de dilatação. A Figura 4.32 mostra as condições da pista de rolamento, incluindo estrutura de contenção, dispositivos de sinalização e segurança viária.



(a) Vista geral da ponte – sentido Belo Horizonte – Bom Despacho.



(b) Vista geral da ponte – sentido Bom Despacho - Belo Horizonte.



(c) Estreitamento de pista na ponte.



(d) Falha de concretagem no guarda-corpo.



(e) Fissura no guarda-corpo com abertura de 0,2 mm.



(f) Deslocamentos pontuais na barreira New Jersey.



(g) Manchas escuras na barreira New Jersey.



(h) Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico.



(i) Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico e remendo no pavimento sobre a junta.



(j) Acúmulo de detritos e crescimento de vegetação sobre a junta de dilatação obstruída pelo revestimento.



(k) Manchas escuras nas alas.



(l) Corrosão de armadura em uma cortina.



(m) Acúmulo de água no piso da passarela.



(n) Acúmulo de detritos no acostamento.

Figura 4.32 – Condições da pista de rolamento da ponte reabilitada sobre o Ribeirão Mateus Leme.

## B) Superestrutura

A superestrutura apresenta alguns danos que podem trazer prejuízos relacionados à durabilidade, mas sem comprometimento da sua integridade estrutural. Foram observadas falhas em drenos e pingadeiras, que não estão desempenhando bem o seu papel, permitindo a percolação de água pela laje nos dois balanços laterais da ponte. Existiam ainda alguns pontos

de infiltração nos vãos da laje, com manchas de eflorescência, que são sintomas do fenômeno da lixiviação. Foram verificadas falhas de concretagem pontuais nas longarinas, onde foi realizado o serviço de apicoamento na face inferior para receber a nova camada de concreto, mas os locais onde se apoiam os pilares não foram recompostos, deixando exposta parte da armadura. Esse procedimento adotado está em desacordo com o projeto, que previa a execução do reforço em toda a face inferior da longarina. Além disso, existiam algumas fissuras nas camadas de reforço da face inferior das longarinas, com abertura máxima de 0,5 mm, também relacionadas a falhas de execução. As medições realizadas com o pacômetro apresentaram espessuras de cobrimento insuficientes em algumas faces das longarinas e na face inferior da laje. Considerando que não foram realizadas intervenções de reforço na face inferior da laje, não se esperava encontrar um cobrimento adequado, ao contrário das longarinas, que teve sua seção aumentada em todas as faces. A Figura 4.33 mostra a situação em que se encontra a superestrutura desta ponte.



(a) Vista inferior do tabuleiro.



(b) Vista lateral da superestrutura no lado esquerdo da ponte.



(c) Falha de concretagem, com armadura exposta nas longarinas, sob os pilares.



(d) Fissura vertical na camada de reforço da longarina, sobre o aparelho de apoio.



(e) Fissura vertical no reforço da longarina, com abertura de 0,5 mm.



(f) Fissura horizontal no reforço da longarina, com abertura de 0,3 mm.



(g) Falha no funcionamento dos drenos, com água percolando pela laje.



(h) Falha na pingadeira e nos drenos, com água percolando pela laje.



(i) Manchas escuras e infiltração no balanço lateral da laje.



(j) Manchas de eflorescência na face inferior da laje.

Figura 4.33 – Situação da superestrutura da ponte rehabilitada sobre o Ribeirão Mateus Leme.

### C) Mesoestrutura

Os danos mais graves identificados nesta ponte estão na mesoestrutura. Foram observados sinais de esmagamento do concreto no topo dos pilares, constatado por fissuras e deslocamentos. Provavelmente esses danos foram causados pela concentração de tensões de compressão no topo dos pilares, como consequência do posicionamento inadequado dos aparelhos de apoio do tipo neoprene, que deveriam estar centralizados na seção transversal

dos pilares, mas em alguns casos observou-se o não atendimento a essa exigência do projeto. Essas falhas no posicionamento dos aparelhos de apoios causaram ainda uma deformação excessiva desses elementos. Além disso, identificou-se um deslocamento pontual em uma viga de contraventamento, devido à corrosão de sua armadura. Verificou-se que os pilares possuem atualmente a seção transversal circular, diferente do projeto de reforço que previa o aumento da seção dos pilares mantendo seu formato octogonal, mas isso não interfere no seu desempenho, desde que tenha sido mantida sua capacidade portante. Os ensaios de pacometria apontaram cobertura insuficiente nas vigas de contraventamento dos pilares e um pouco abaixo da espessura especificada para os pilares. A Figura 4.34 mostra a situação atual dos elementos da mesoestrutura.



(a) Vista geral da mesoestrutura.



(b) Deslocamento pontual em uma viga de contraventamento dos pilares.



(c) Deslocamentos no topo de um pilar, com armadura do reforço exposta.



(d) Fissura vertical no topo de um pilar, devido à concentração de esforços.



e) Fissura no topo do pilar, com abertura de 0,7 mm.



f) Trinca e deslocamento do concreto no topo do pilar, devido à concentração de esforços de compressão.



g) Deformação do aparelho de apoio de neoprene.



h) Deformação do aparelho de apoio de neoprene.

Figura 4.34 – Situação da mesoestrutura da ponte reabilitada sobre o Ribeirão Mateus Leme.

#### D) Infraestrutura

Apesar de não estar visível, a infraestrutura encontra-se aparentemente em bom estado de conservação, considerando que não há nenhum sinal de recalque ou deslocamento de fundação em toda a ponte. Foram identificadas apenas algumas erosões e ausência de proteção vegetal nos taludes das duas extremidades da ponte, que precisam ser corrigidos a fim de se evitar a ocorrência futura de algum problema de instabilidade na fundação ou na contenção da pista. Embora o projeto de reforço tenha previsto apenas o aumento da seção dos tubulões, verificou-se a implantação de um bloco de reforço em um dos apoios. A Figura 4.35 mostra os principais danos identificados na infraestrutura desta ponte.



(a) Ausência de proteção vegetal nos taludes dos encontros.



(b) Erosão no talude ao lado da ponte no encontro próximo à cortina 2.

Figura 4.35 – Situação da infraestrutura da ponte reabilitada sobre o Ribeirão Mateus Leme.

São apresentados no Quadro 4.10, para cada metodologia de avaliação adotada, a nota técnica atribuída, sua respectiva classificação e as ações corretivas recomendadas.

Quadro 4.10 – Resultados da inspeção da ponte reabilitada sobre o Ribeirão Mateus Leme.

Metodologia	Nota Técnica	Classificação	Ação Corretiva
DNIT	3	Condição Boa aparentemente – obra potencialmente problemática.	A recuperação da obra pode ser postergada. Colocar o problema em observação sistemática.
GDE-UnB	44,68	Nível de deterioração médio.	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
ABNT (Estrutural)	3	Condição Regular – Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias em médio prazo.
ABNT (Funcional)	4	Condição Boa - A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
ABNT (Durabilidade)	3	Condição Regular - A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.	Os defeitos requerem ações de médio prazo.

#### 4.2.4.2 Inspeção realizada na ponte nova

São descritas a seguir as condições atuais de cada elemento constituinte da ponte nova, assim como os principais danos ou anomalias identificados durante a inspeção.

##### A) Pista de Rolamento

A ponte nova apresenta estreitamento de pista pelos mesmos motivos da ponte antiga. O pavimento estava em boas condições, existindo apenas algumas pequenas ondulações nos acessos. Foi observado um desalinhamento vertical da barreira de segurança, devido a um leve assentamento do aterro na entrada da ponte, provavelmente amenizado pela existência da laje de transição. As barreiras de segurança e guarda-corpo estavam em bom estado de conservação. Ocorreram apenas manchas e alguns deslocamentos pontuais nas barreiras e algumas fissuras relacionadas à corrosão de armadura e falhas de concretagem pontuais nos guarda-corpos. As medições realizadas com o pacômetro apontaram espessuras de cobrimento insuficientes, o que pode justificar o surgimento precoce de danos relacionados à corrosão de armadura. As juntas de dilatação estavam completamente obstruídas pelo revestimento asfáltico, impedindo a livre movimentação da superestrutura da ponte e propiciando o acúmulo de umidade e a deterioração do material de vedação. Observou-se um acúmulo de detritos e umidade no piso da passarela, devido a uma falha no sistema de drenagem da ponte, que não consegue escoar toda a água pluvial nesse local. Esse acúmulo traz prejuízos à durabilidade da laje da ponte devido à infiltração de água nesse local. Já na pista de rolamento, verificou-se o acúmulo de detritos no acostamento e crescimento de vegetação, sobretudo nas juntas de dilatação. A Figura 4.36 mostra as condições da pista de rolamento, incluindo estrutura de contenção, dispositivos de sinalização e segurança viária.



(a) Vista geral da ponte – sentido Belo Horizonte – Bom Despacho. No detalhe, estreitamento de pista no acostamento.



(b) Vista geral da ponte – sentido Bom Despacho - Belo Horizonte.



(c) Pequenas ondulações no pavimento da pista de acesso.



(d) Desalinhamento da barreira New Jersey no encontro.



(e) Deslocamentos pontuais na barreira New Jersey.



(f) Falha de concretagem no guarda-corpo.



(g) Fissura com abertura de 2,0 mm no guarda-corpo.



(h) Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico.



(i) Acúmulo de detritos e vegetação sobre a junta de dilatação.



(j) Acúmulo de detritos na passarela, devido a problemas de drenagem.

Figura 4.36 – Condições da pista de rolamento da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.

### B) Superestrutura

Os principais problemas patológicos identificados na superestrutura estavam relacionados ao mau desempenho do sistema de drenagem, que em sua maioria não se mostrou eficiente, permitindo a percolação de água pela laje nos dois balanços laterais da ponte e também nas vigas principais. Além de não existirem pingadeiras, observou-se que muitos drenos possuíam comprimento insuficiente para afastar o fluxo de água da superestrutura e também havia infiltração ao redor dos drenos. Verificou-se a existência de deslocamentos em uma extremidade longitudinal da laje, com exposição de armadura, provavelmente provocado pelo choque da laje com o encontro, durante a movimentação da superestrutura. Ressalta-se a importância da preservação da junta de dilatação, que nesse caso encontra-se obstruída pelo revestimento asfáltico na superfície e também por restos de forma. Identificou-se ainda uma falha de concretagem pontual em uma placa da pré-laje. Nos ensaios de pacometria, verificou-se cobertura insuficiente apenas na face inferior de uma longarina. A Figura 4.37 mostra a situação em que se encontra a superestrutura desta ponte.



(a) Vista inferior do tabuleiro.



(b) Vista lateral da superestrutura.



(c) Mancha na laje e na viga principal decorrente do mau funcionamento de um dreno.



(d) Mancha na laje e na viga principal decorrente do mau funcionamento de um dreno e ausência de pingadeira.



(e) Manchas de infiltração na laje e na longarina.



(f) Deslocamento na extremidade da laje no contato com o encontro.



(g) Corrosão de armadura exposta em função do deslocamento.



(h) Falha de concretagem de uma pré-laje.

Figura 4.37 – Situação da superestrutura da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.

### C) Mesoestrutura

Os principais danos relacionados à mesoestrutura estão concentrados nos dois encontros. Ambos apresentam danos que podem comprometer a sua durabilidade, como excesso de umidade, infiltração de água, manchas escuras, eflorescência e biodeterioração. Foi observada também a existência de detritos e muita umidade no apoio das longarinas nos encontros, sendo recomendada sua limpeza a fim de se evitar prejuízos ao funcionamento adequado dos

aparelhos de apoio. Já os apoios intermediários estavam em boas condições de conservação, sendo identificadas apenas algumas falhas de concretagem na viga de contraventamento desses pilares. Nos ensaios de pacometria, verificou-se cobrimento insuficiente nos dois pilares e na viga de contraventamento. Os encontros apresentaram espessuras de cobrimento próximas à especificação do projeto. A Figura 4.38 ilustra a situação em que se encontram os elementos da mesoestrutura desta ponte.



(a) Vista do apoio central.



(b) Excesso de umidade e manchas de eflorescência no encontro do lado de Belo Horizonte.



(c) Excesso de umidade e manchas de eflorescência no encontro do lado de Bom Despacho.



(d) Manchas de eflorescência no encontro.



(e) Umidade, manchas escuras e vegetação na parede de contenção de um encontro.



(f) Detritos e umidade no apoio de uma longarina no encontro.



(g) Detritos e umidade no apoio de uma longarina no encontro.



(h) Falha de concretagem na viga de contraventamento dos pilares.

Figura 4.38 – Situação da mesoestrutura da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.

#### D) Infraestrutura

Apesar de não estar visível, a infraestrutura encontra-se aparentemente em bom estado de conservação, considerando que não há nenhum sinal de recalque ou deslocamento de fundação em toda a ponte. Foram identificadas apenas algumas erosões e ausência de proteção vegetal nos taludes das duas extremidades da ponte, que precisam ser corrigidos a fim de se evitar a ocorrência futura de algum problema de instabilidade na fundação ou na contenção da pista. A Figura 4.39 mostra os danos identificados na infraestrutura desta ponte.



(a) Erosão no talude do lado de Horizonte, provocando o solapamento do solo sob o encontro.



(b) Erosão no talude do lado de Belo Horizonte, provocando o solapamento do solo sob o encontro.



c) Erosão no talude do lado de Bom Despacho.



d) Erosão no talude do lado de Bom Despacho, deixando exposta parte do tubulão.

Figura 4.39 – Situação da infraestrutura da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.

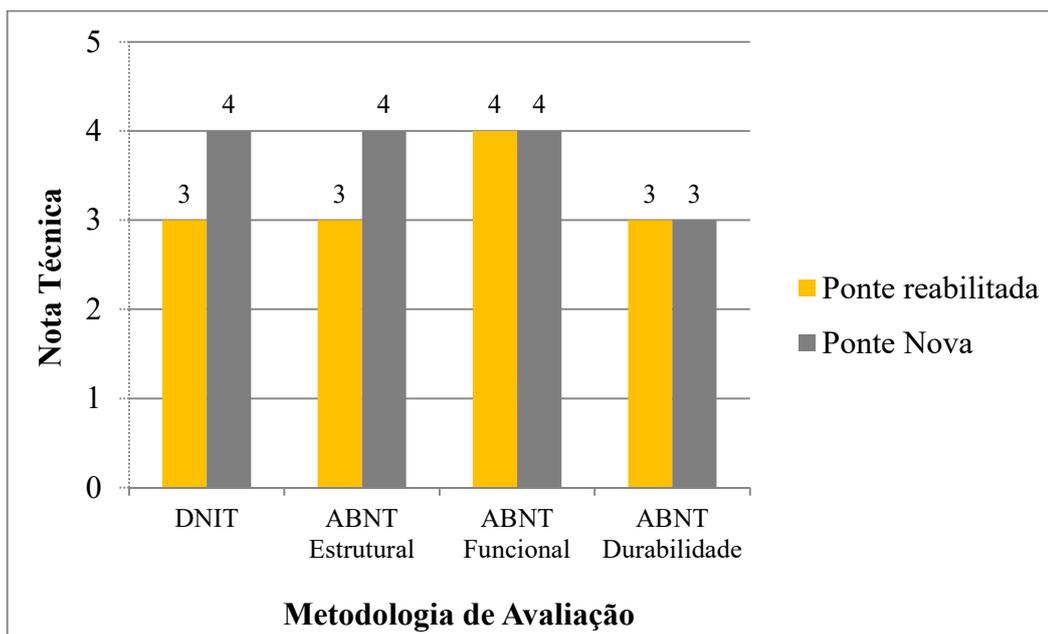
São apresentados no Quadro 4.11, para cada metodologia de avaliação adotada, os resultados da inspeção, com as notas técnicas atribuídas, suas respectivas classificações e as ações corretivas recomendadas.

Quadro 4.11 – Resultados da inspeção da ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme.

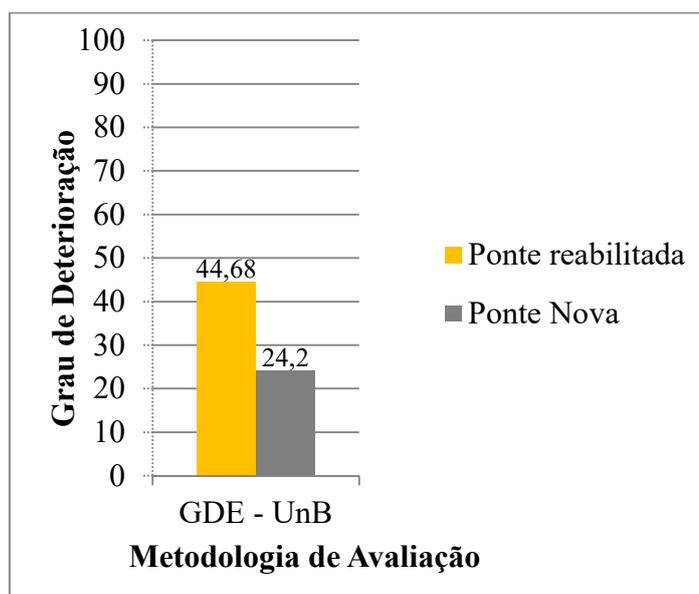
Metodologia	Nota Técnica	Classificação	Ação Corretiva
DNIT	4	Condição Boa – obra sem problemas importantes.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
GDE-UnB	24,2	Nível de deterioração médio.	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
ABNT (Estrutural)	4	Condição Boa – A estrutura apresenta danos pequenos, sem comprometer a segurança estrutural.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
ABNT (Funcional)	4	Condição Boa - A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
ABNT (Durabilidade)	3	Condição Regular - A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.	Os defeitos requerem ações de médio prazo.

#### 4.2.5 Comparação entre as pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme

De maneira geral, as duas pontes apresentaram um desempenho satisfatório, não existindo nenhum dano significativo que possa afetar a sua integridade estrutural no curto prazo ou a sua funcionalidade. A Figura 4.40 demonstra, através de gráficos, as notas técnicas atribuídas a cada ponte, segundo diferentes metodologias de avaliação.



(a) Avaliação segundo metodologias DNIT e ABNT



(b) Avaliação segundo metodologia GDE-UnB

Figura 4.40 – Notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme.

Neste estudo de caso, observa-se uma convergência dos resultados em todas as comparações. Foram obtidos resultados coerentes entre si e fieis à realidade, independente da metodologia de avaliação utilizada. As notas técnicas atribuídas mostram que a ponte reabilitada apresentou um desempenho ligeiramente inferior ao da ponte nova.

De acordo com a metodologia do DNIT, para a ponte nova, recomenda-se apenas a realização de serviços de manutenção. Já a ponte reabilitada, foi classificada como obra potencialmente problemática, sendo recomendado o seu monitoramento e sua recuperação em longo prazo. As anomalias que mais influenciaram a nota técnica da ponte reabilitada foram os sinais de esmagamento do concreto no topo dos pilares, causados pelo posicionamento inadequado dos aparelhos de apoio.

As notas técnicas da ponte reabilitada, segundo os parâmetros estrutural e de durabilidade da ABNT, também foram influenciadas negativamente pelos danos nos pilares causados pela concentração de esforços de compressão. Além disso, o estreitamento da pista nas duas pontes prejudicou suas notas técnicas no parâmetro funcional e as erosões nos taludes das pistas de acesso afetaram suas notas no parâmetro da durabilidade. De acordo com as classificações obtidas por esta metodologia, foram recomendadas ações em médio prazo para a correção das anomalias detectadas nos aparelhos de apoio da ponte reabilitada e também para a correção das erosões nos taludes de ambas as pontes.

As notas atribuídas pelo critério de avaliação da metodologia GDE-UnB retratam bem a situação das duas pontes, que apresentam níveis de deterioração semelhantes, porém a ponte reabilitada apresenta desempenho ligeiramente inferior. Essa diferença se dá principalmente em função dos problemas relacionados à falha no posicionamento dos aparelhos de apoio sobre os pilares. Foram recomendadas intervenções de longo prazo para as duas pontes. Ao considerar apenas os graus de deterioração das pontes, alguns problemas como “junta de dilatação” ou “apoios” não impactaram suficientemente a sua avaliação global. Se fossem considerar apenas as notas técnicas desses elementos em separado, estas recomendariam intervenções em médio prazo, a exemplo do que foi recomendado pela metodologia ABNT segundo os parâmetros estrutural e de durabilidade. Portanto, ao adotar a metodologia GDE-UnB, é importante analisar as notas técnicas de cada elemento, sob risco de ignorar algum defeito que seja pontual e ao mesmo necessite intervenções em menor prazo.

Os danos mais graves identificados na ponte rehabilitada estão localizados nos pilares e foram causados por falhas na execução da substituição dos aparelhos de apoio. Os demais elementos que receberam aumento de seção transversal (longarinas, sobrelaje e tubulões) e os balanços da laje que foram alargados apresentaram bom desempenho. Assim, pode-se concluir que as intervenções de alargamento e reforço realizadas foram eficazes.

Existem anomalias que são comuns às duas pontes. Os sistemas de drenagem se mostraram ineficientes, não conseguindo atingir o objetivo de coletar a água pluvial da pista e proteger a superestrutura das pontes. Na ponte nova sequer existiam pingadeiras nas extremidades laterais da laje. As juntas de dilatação encontram-se totalmente obstruídas pelo revestimento asfáltico, comprometendo o seu perfeito funcionamento e a durabilidade da estrutura como um todo. Estava previsto inicialmente, em ambas as pontes, uma pista com duas faixas de rolamento e acostamento, mantendo a seção transversal da pista duplicada, mas sem previsão de passeio para pedestres. A ausência de previsão de soluções para a travessia para os pedestres motivou uma adequação do projeto na fase de obras visando à criação de um passeio no lugar do acostamento, trazendo um prejuízo à segurança dos usuários da rodovia devido ao estreitamento de pista nas pontes.

Analisando os dados obtidos durante as inspeções e considerando o nível de deterioração de cada ponte, verifica-se que a ponte rehabilitada teve um desempenho ligeiramente inferior à ponte nova que foi construída ao lado. No entanto, pode-se concluir que neste caso o aproveitamento da estrutura existente se mostrou viável sob o ponto de vista da durabilidade, considerando ainda que os principais danos identificados na ponte rehabilitada não se tratavam de reincidência de problemas patológicos tratados durante a obra ou falha nas intervenções de alargamento e reforço.

### **4.3 Pontes sobre o Rio Paraopeba**

As pontes sobre o Rio Paraopeba estão localizadas na rodovia BR-262, km 361, no município de Betim, em Minas Gerais. Tem como subtrecho o entroncamento com a BR-381 (B) (Betim) até o entroncamento com a MG-050 (p/ Mateus Leme), sob o código 262BMG0650 no Sistema Nacional de Viação – SNV de 2016, com volume médio de tráfego na ordem de 24.500 veículos por dia. A Figura 4.41 mostra uma vista geral das pontes avaliadas.



Figura 4.41 – Foto das pontes sobre o Rio Paraopeba. À esquerda a ponte nova e à direita a ponte antiga reabilitada.

As pontes sobre o Rio Paraopeba também estão situadas no trecho concedido da rodovia BR-262, sob responsabilidade da empresa Triunfo Concebra, distantes 8,5 quilômetros das pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme. A Figura 4.42 mostra a localização da rodovia BR-262 e das pontes sobre o Rio Paraopeba.

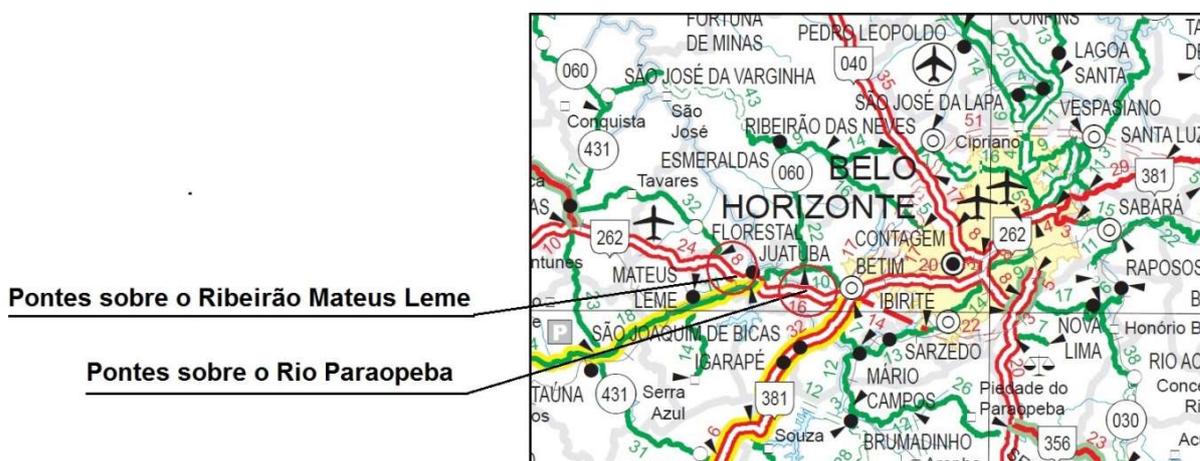


Figura 4.42 – Localização das pontes sobre o Rio Paraopeba.

Fonte: Adaptado de DNIT, 2013.

### 4.3.1 Ponte Reabilitada

#### 4.3.1.1 Descrição da ponte original

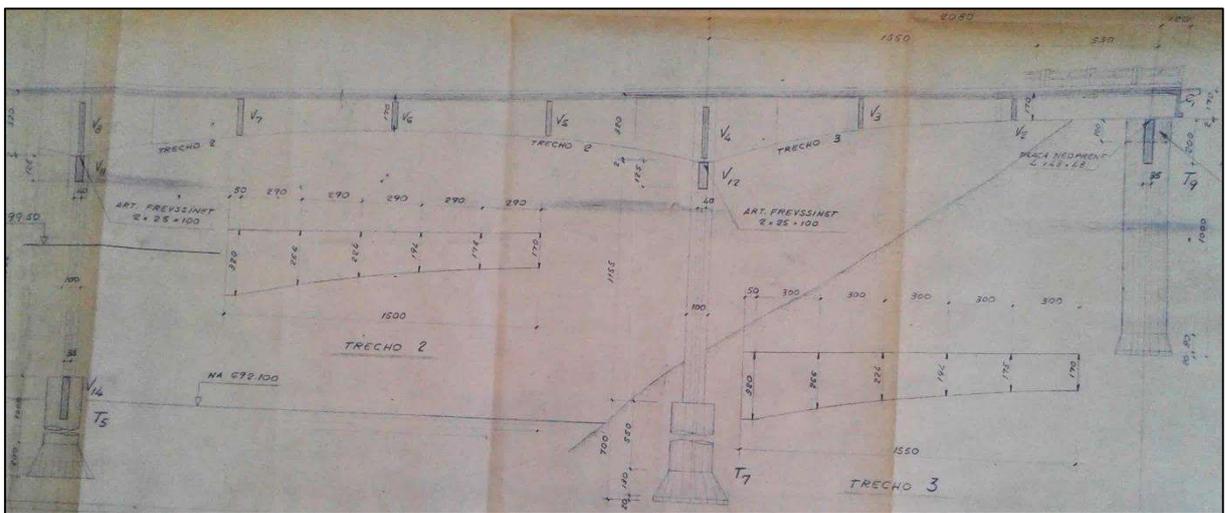
A ponte original, Classe 36 toneladas, foi projetada em 1963 pelo extinto DNER. Foi dimensionada de acordo com as normas vigentes à época (NB-1/1960, NB-2/1960 e NB-6/1960), conforme histórico de evolução apresentado no Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004a). As principais características dessa ponte estão descritas no Quadro 4.12.

Quadro 4.12– Principais características do projeto original da ponte sobre o Rio Paraopeba.

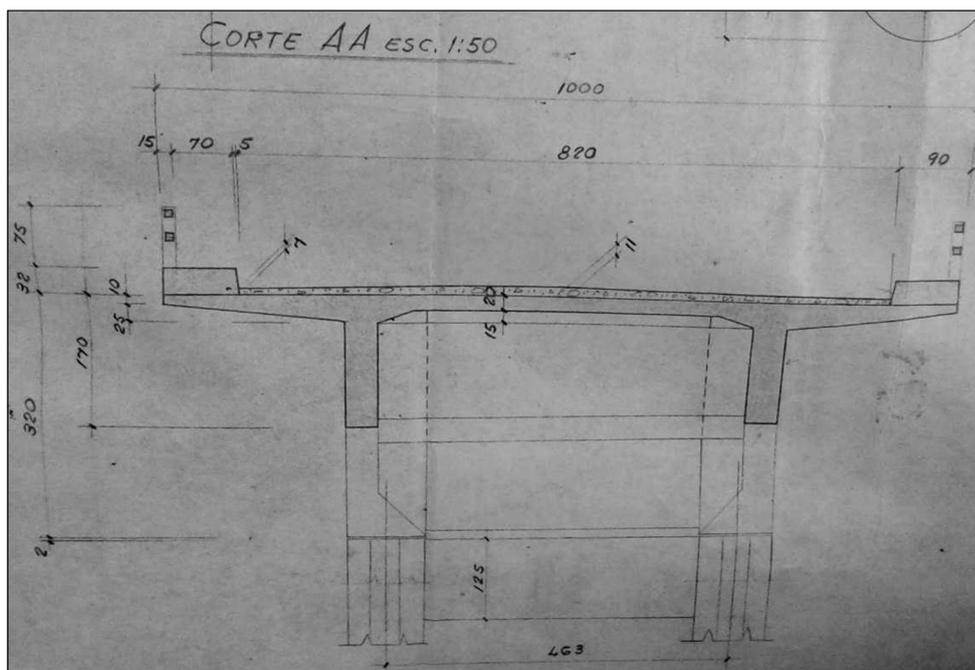
<b>Materiais</b>	
<p>Todos os elementos em concreto armado.</p> <p>Aparelhos de apoio móveis do tipo neoprene nos quatro pilares das extremidades e fixos do tipo Freyssinet nos apoios intermediários.</p> <p>Revestimento asfáltico da pista.</p> <p>Sem especificação do sistema de drenagem e das juntas de dilatação.</p>	
<b>Região</b>	
Obra situada em região ondulada.	
<b>Dados Geométricos</b>	
Ponte ortogonal ao rio e tangente à rodovia.	
Comprimento Total	111,0 metros, com quatro vãos (24,0 m + 30,0 m + 30,0 m + 20,7 m), além de dois balanços de 5,0 e 1,30 m nas extremidades.
Largura total	10,00 m (pista de 8,20 m, com duas faixas de rolamento)
Acostamento	Não possui.
Guarda-rodas	Dois guarda-rodas com seção transversal de 90 x 30 cm.
Guarda-corpo	Em concreto vazado, de 15 x 90 cm sobre os guarda-rodas.
Laje	Maciça, com espessura de 15 cm no meio do vão.
Longarinas	Dois longarinas, com seção transversal variável: 43 a 100 x 170 a 320 cm.
Transversinas	Quinze transversinas, com seção transversal variável: 20 x 130 a 240 cm.
Pilares	Cinco pares de pilares com diâmetro de 1,0 m, unidos por vigas de contraventamento no topo e também ao meio nos apoios intermediários.

Fundação	Profunda, composta por 10 tubulões com diâmetro de 200 cm no fuste e 350 cm na base.
Laje de transição	Não possui.
Encontros	Não possui (Contenção do aterro através de cortinas e alas).
Cortina	Seção transversal de 20 x 197cm.

A Figura 4.43 mostra a vista longitudinal dos dois últimos vãos e a seção transversal com as características geométricas da concepção da ponte original.



(a) Vista longitudinal da ponte.



(b) Seção transversal da ponte.

Figura 4.43 – Características geométricas da ponte original sobre o Rio Paraopeba (Projeto DNER, 1963).

#### 4.3.1.2 Situação da ponte antes das intervenções de reabilitação

Devido aos mesmos motivos já expostos no caso da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme, neste caso também não foram identificadas inspeções que tenham sido realizadas antes das intervenções, o que impossibilitou o conhecimento do estado de conservação da ponte antiga antes da reabilitação. Seu projeto de recuperação também não apresenta de forma clara o diagnóstico dos problemas patológicos que possivelmente existiam antes das intervenções, indicando apenas soluções padrão para serem executadas onde fosse necessário, sem detalhar o tipo, a localização, a extensão e a intensidade de cada dano.

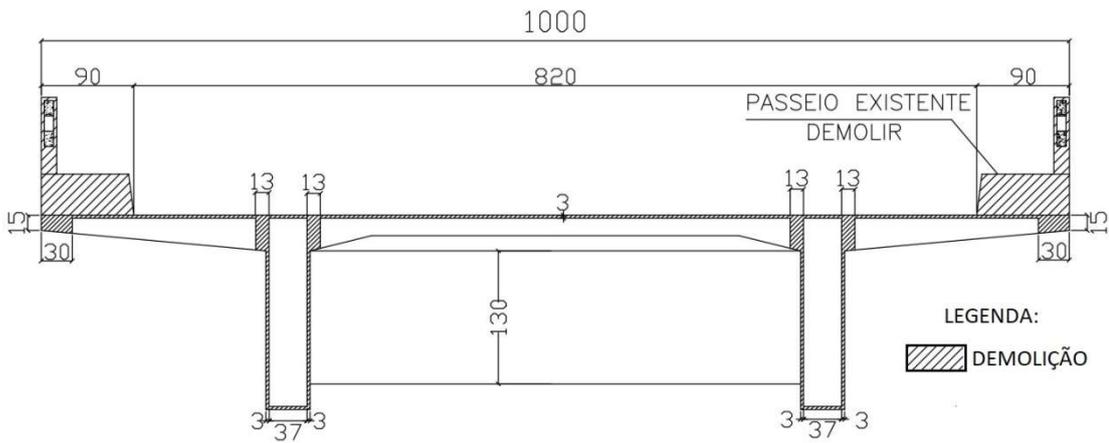
#### 4.3.1.3 Procedimentos de alargamento e reforço estrutural

O projeto de alargamento e reforço foi elaborado pela empresa Ecoplan Engenharia, em outubro de 2006 e os serviços foram executados pela empresa Torc - Terraplenagem Obras Rodoviárias Construções Ltda, no período de setembro de 2009 a junho de 2011, ambos contratados pelo DNIT.

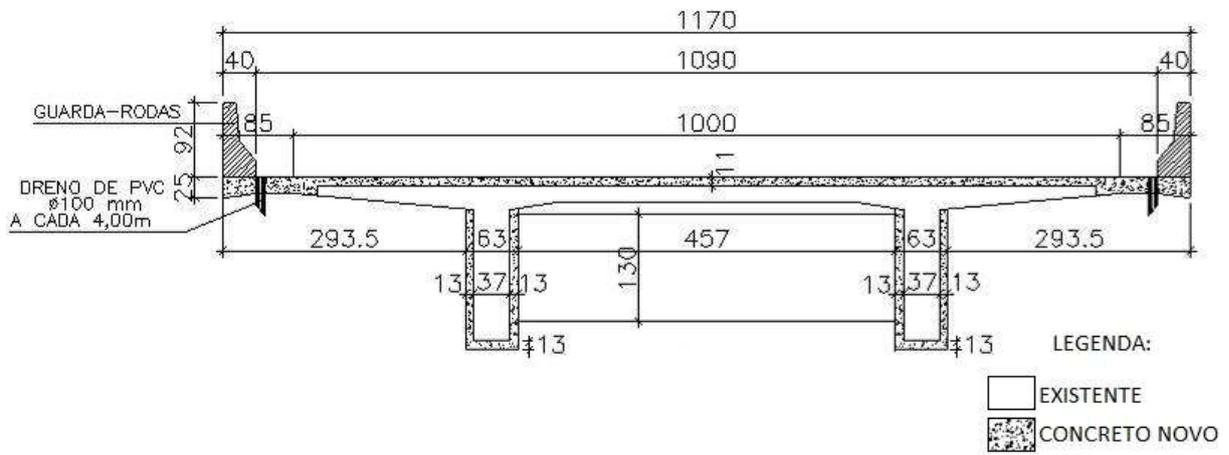
As intervenções de reabilitação da ponte tiveram por objetivo atender às novas exigências da rodovia BR-262 que passava por obras de duplicação. O projeto previa o alargamento da ponte, aumentando sua largura total de 10,0 para 11,70 metros, que correspondia à largura de cada pista após a duplicação (duas faixas de rolamento e acostamento). Foi previsto também o reforço estrutural da ponte visando readequá-la para o trem-tipo TB-45 (450 kN), a substituição dos aparelhos de apoio, do pavimento e das juntas de dilatação, o alargamento das cortinas e a troca dos guarda-rodas e guarda-corpos por barreiras de segurança do tipo New Jersey, além de intervenções de recuperação da estrutura existente.

##### A) Alargamento e reforço da superestrutura

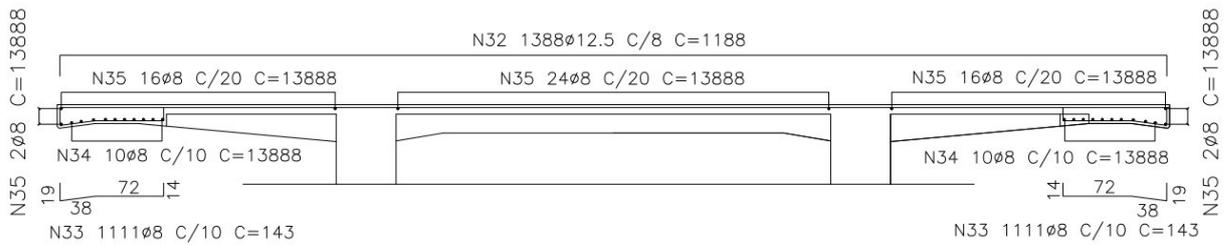
O método de alargamento adotado consistiu no aumento da largura da laje existente, sem a adição de novos apoios e de novas vigas ao tabuleiro, utilizando-se apenas concreto armado convencional. O reforço da superestrutura baseou-se na adição de uma sobrelaje e no aumento da seção transversal das longarinas, com acréscimo de novas armaduras. Detalhes do projeto de alargamento e reforço da superestrutura são apresentados na Figura 4.44.



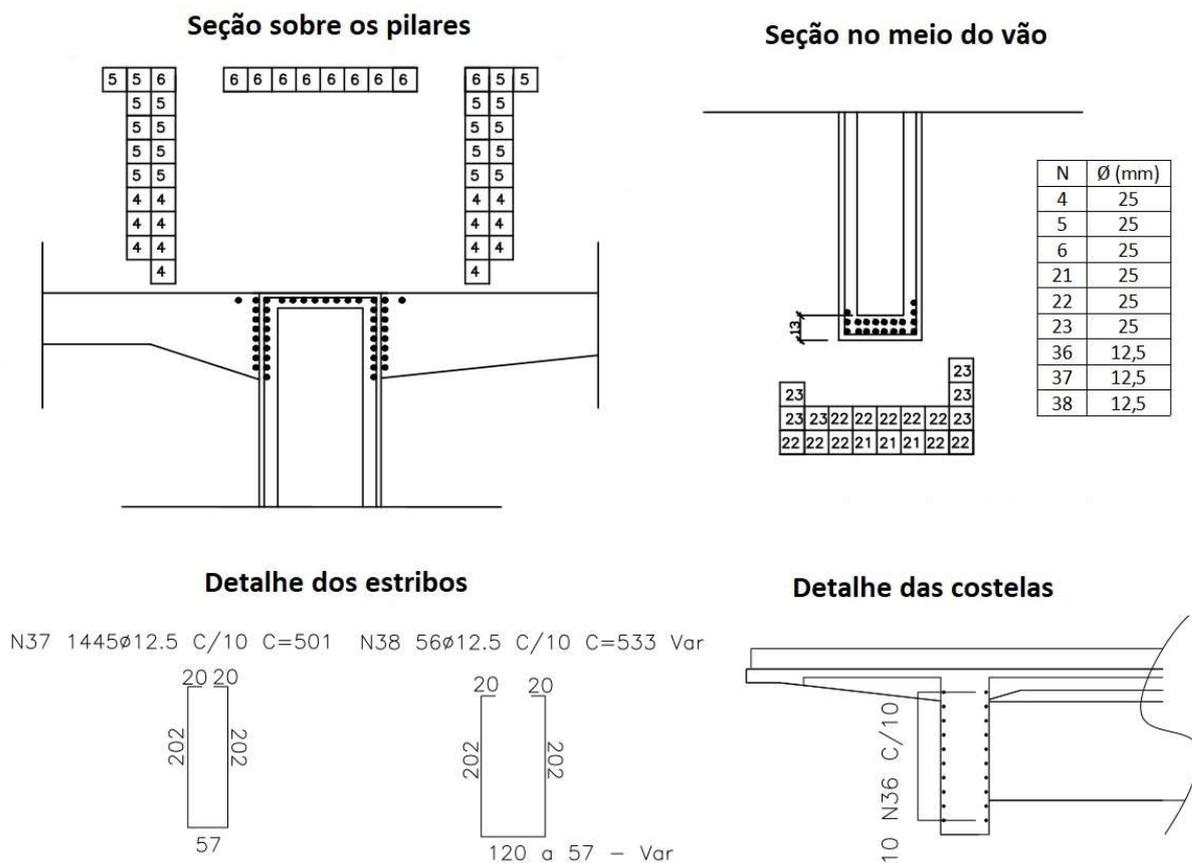
(a) Projeto de demolição.



(b) Projeto de forma e concretagem.



(c) Detalhes das armaduras do alargamento da laje e da sobrelaje.

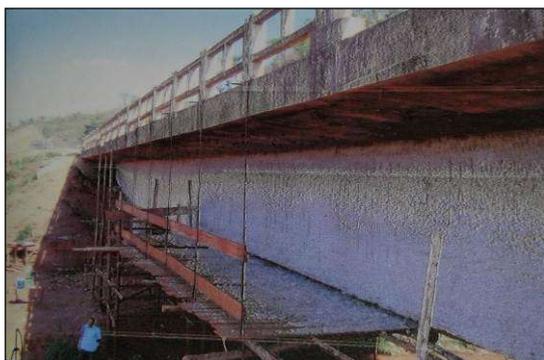


(d) Detalhes das armaduras do reforço das longarinas.

Figura 4.44 – Detalhes do projeto de alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Rio Paraopeba (DNIT, 2006).

O projeto previa inicialmente a demolição dos guarda-corpos, dos guarda-rodas e de 30 cm nas extremidades das lajes em balanço nas laterais da ponte, além do apicoamento de 3 cm na superfície superior da laje e nas faces das duas longarinas, com objetivo de preparar a superfície, mantendo-a com aspereza suficiente para possibilitar a aderência do novo material do reforço com o concreto velho. Em seguida, foi executada a concretagem de uma sobrelaje com espessura de 11 cm, juntamente com a nova laje cuja largura era de 1,15 m em cada lado da ponte (30 cm demolido + 85 cm do alargamento), as novas barreiras New Jersey e o reforço de 13 cm nas faces das longarinas. A resistência característica à compressão do concreto utilizado neste reforço era de 30 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. Foram instalados drenos de PVC com diâmetro de 100 mm a cada 4,0 metros, nos dois lados da ponte.

A Figura 4.45 apresenta algumas fotos da execução do alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Rio Paraopeba.



(a) Apicoamento da superfície de concreto das longarinas (3 cm).



(b) Execução do reforço através da aplicação do concreto projetado (13 cm).



(c) Demolição do pavimento.



(d) Alargamento e reforço da laje concluídos, além da troca dos antigos guarda-rodas e guarda-corpos pelas barreiras New Jersey.

Figura 4.45 – Execução do alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Rio Paraopeba.

## B) Reforço da mesoestrutura

O reforço dos pilares foi realizado também com aumento da seção transversal. O procedimento previa o apicoamento da superfície de concreto, colocação de armadura adicional e concretagem da camada de reforço com 13 cm de espessura em cada face, cuja resistência característica à compressão era de 25 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. Foram implantados consoles nos topos dos pilares com objetivo de apoiar os macacos hidráulicos que foram utilizados para a substituição dos aparelhos de apoio. Os novos aparelhos de apoio instalados são móveis do tipo neoprene fretado, com espessura de 39 mm e dimensões de 35 x 45 cm nos apoios extremos e de 45 x 60 cm nos demais apoios. A Figura 4.46 mostra detalhes do projeto de reforço dos pilares.

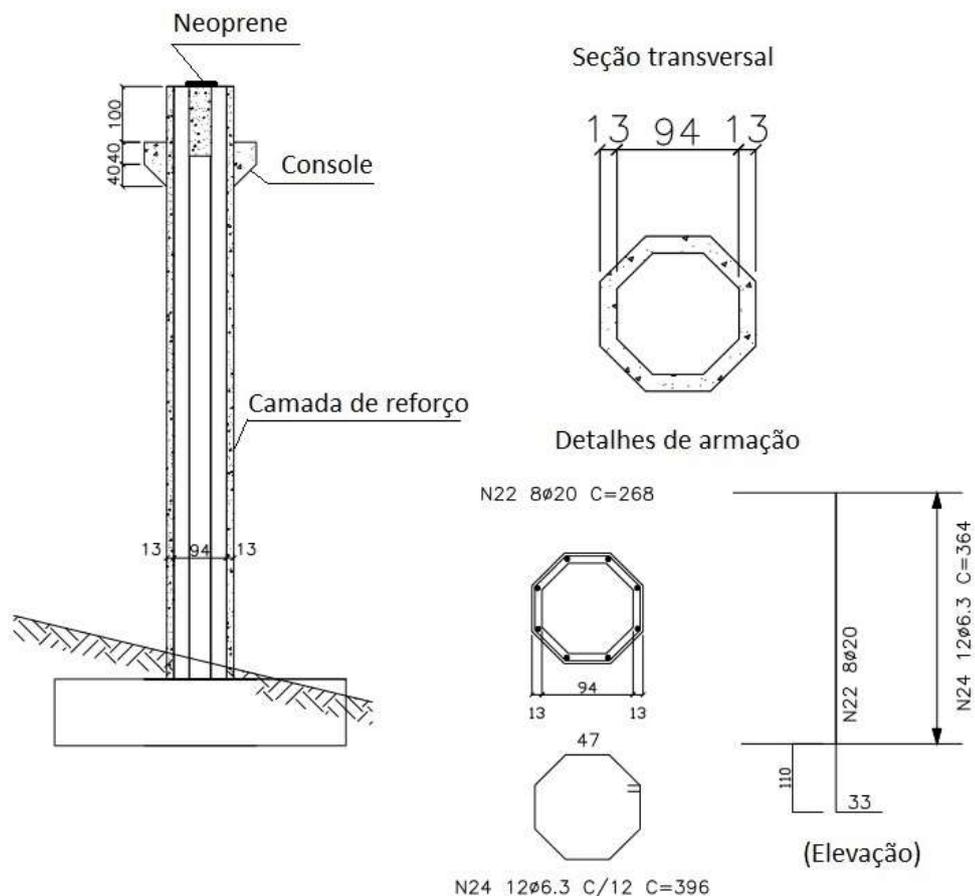
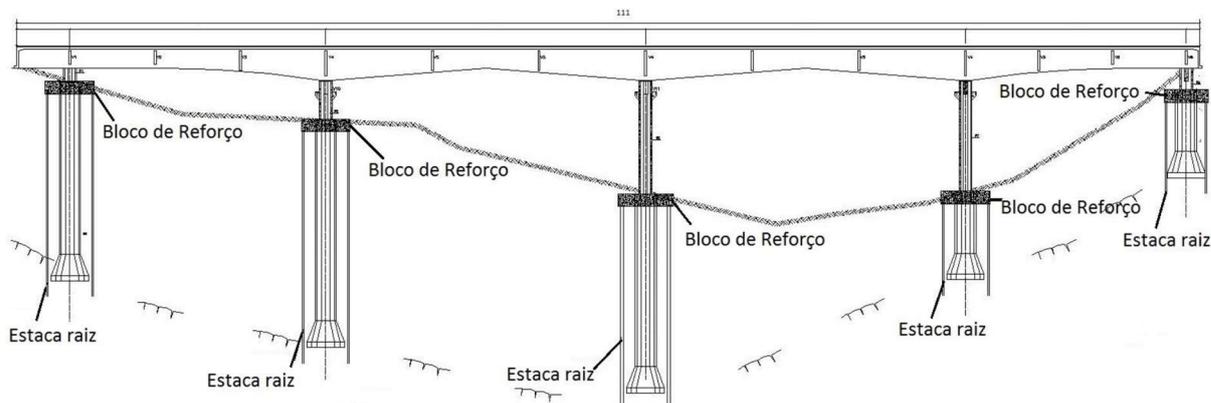


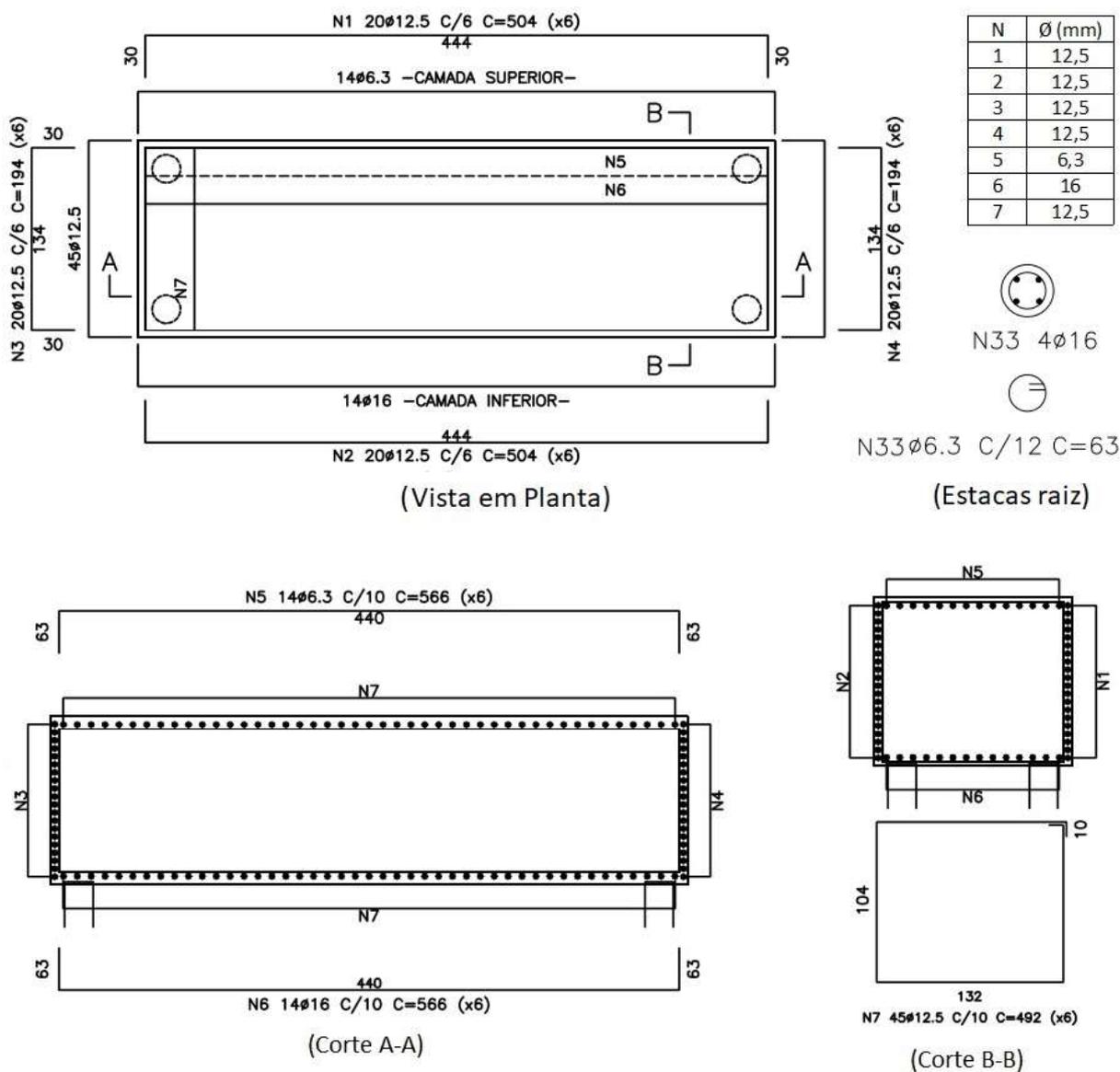
Figura 4.46 – Detalhes do reforço dos pilares da ponte Sobre o Rio Paraopeba (DNIT, 2006).

### C) Reforço da infraestrutura

Foram implantados dez blocos com função estrutural de reforço da infraestrutura. Cada bloco envolvia um tubulão de um pilar, conforme mostra a Figura 4.47. Foi previsto um sistema de fundação profunda com quatro estacas tipo raiz (com diâmetro de 200 mm) para cada bloco. A resistência característica à compressão do concreto utilizado nas estacas era de 25 MPa.



(a) Vista esquemática do reforço da infraestrutura.



(b) Detalhes das armaduras dos blocos de reforço com dimensões de 450 x 140 x 120 cm.

Figura 4.47 – Detalhes do reforço da infraestrutura da ponte sobre o Rio Paraopeba (DNIT, 2006).

#### D) Procedimentos de recuperação da estrutura existente

Além das intervenções de alargamento e reforço estrutural, o projeto de reabilitação previu dois procedimentos para recuperação da estrutura existente: recuperação de fissuras na face inferior das lajes e recuperação das transversinas e cortinas. Esses procedimentos foram previstos para elementos que não foram reforçados e somente onde fosse necessário.

Para a recuperação das fissuras na face inferior das lajes, foi recomendada a seguinte sequência executiva: abertura de sulcos, execução de furos ao longo das fissuras com diâmetro de 12,5 mm, limpeza dos sulcos com ar comprimido, fixação de tubos plásticos, calefação das fissuras e injeção de resina acrílica. A sequência executiva para a recuperação das transversinas e cortinas era: escarificação manual e corte de concreto, lixamento manual e/ou elétrico das armaduras, proteção das armaduras com tinta com alto teor de zinco, limpeza do substrato com ar comprimido, preparação da ponte de aderência com adesivo de base acrílica, aplicação de argamassa polimérica para reconstituição com espessura de até 5 cm e aplicação de membrana de cura química.

#### 4.3.2 Ponte Nova

##### 4.3.2.1 Descrição da ponte nova

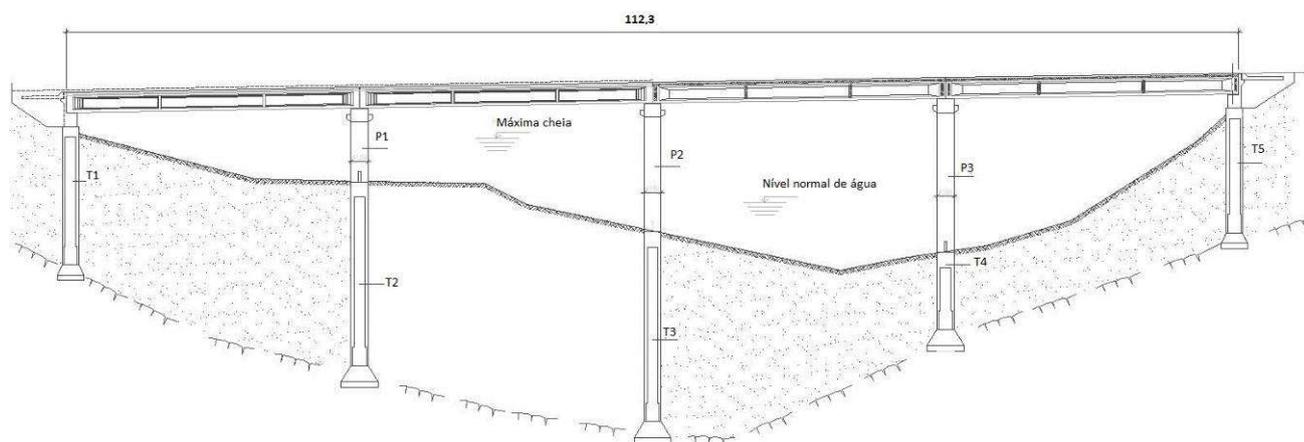
A ponte nova, Classe 45 toneladas, foi projetada em 2006 pela empresa Ecoplan Engenharia, contratada pelo DNIT para a elaboração dos projetos de duplicação da rodovia BR-262 entre os municípios de Betim e Nova Serrana. A obra foi executada pela empresa Torc - Terraplenagem Obras Rodoviárias Construções Ltda, no período de abril de 2009 a julho de 2010, servindo como desvio de tráfego durante as obras de reabilitação da ponte existente e a partir de junho de 2011 passou a integrar a rodovia duplicada. As principais características dessa ponte estão descritas no Quadro 4.13.

Quadro 4.13 – Principais características do projeto da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.

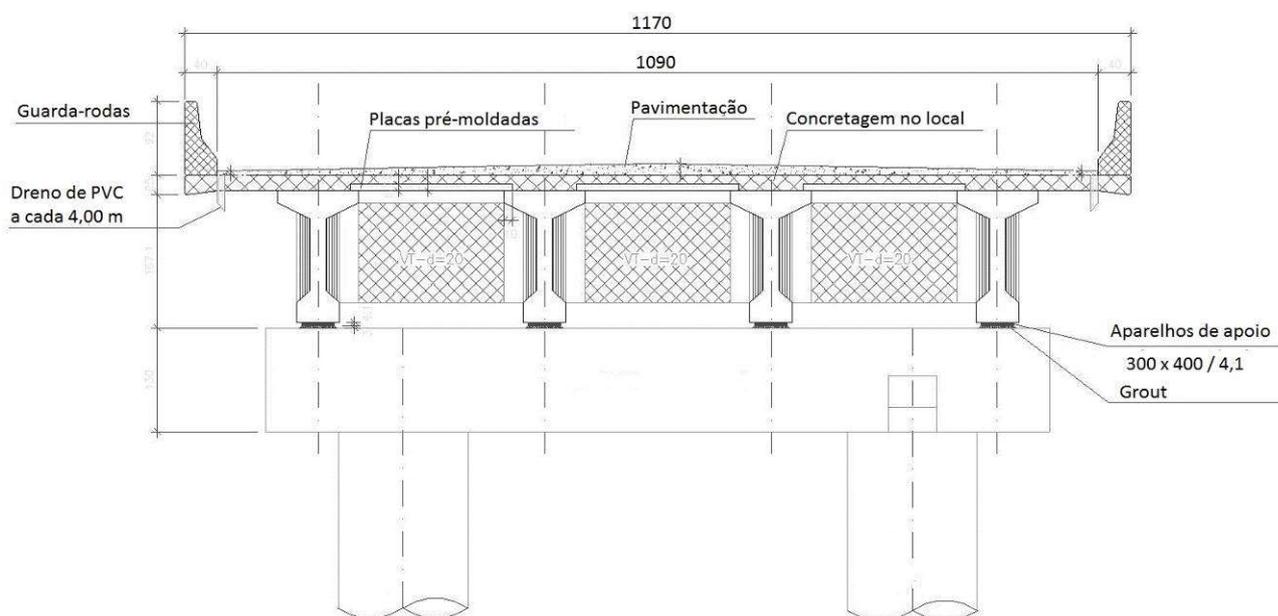
<b>Materiais</b>
<p>Vigas principais pré-moldadas protendidas e os demais elementos em concreto armado.</p> <p>32 aparelhos de apoio móveis do tipo neoprene fretado com espessura de 4,1 cm e dimensões de 30 x 40 cm (quatro em cada encontro e oito em cada travessa).</p> <p>Juntas de dilatação do tipo Jeene – JJ 2540 W ou similar nos encontros.</p> <p>Revestimento asfáltico da pista com 14 cm de espessura no meio da seção.</p> <p>Drenos de PVC com diâmetro de 100 mm a cada 4,0 m, nos dois lados da ponte.</p>
<b>Região</b>
<p>Obra situada em região ondulada.</p>

<b>Dados Geométricos</b>	
Ponte ortogonal ao rio e tangente à rodovia.	
Comprimento Total	112,3 metros, com quatro vãos de 28,0 metros.
Largura total	11,70 m com duas faixas de rolamento e acostamento.
Acostamento	Sim
Guarda-rodas	Barreiras de segurança do tipo New Jersey.
Guarda-corpo	Não possui.
Laje	Maciça, com espessura de 20 cm, concretada sobre pré-lajes.
Longarinas	Quatro longarinas pré-moldadas protendidas, seção I, com dimensões de 52cm (mesa inferior), 100 cm (mesa superior) e 165 cm de altura, apoiadas em 3 travessas (sobre os pilares) e dois encontros.
Transversinas	Dezesseis transversinas, com seção transversal de 20 x 150 cm.
Pilares	Três pares de pilares, ligados por vigas de contraventamento em sua base, com seção de 25 x 90 cm. Os pilares possuem seção transversal circular, com diâmetro de 160 cm.
Fundação	Profunda, composta por dez tubulões com diâmetro de 160 cm no fuste e bases com diâmetro de 350 cm sob os pilares e 250 cm sob os encontros.
Laje de transição	Seção transversal de 400 cm x 25 cm.
Encontros	São formados por vigas com dimensões de 130 cm x 130 cm, cada uma apoiada em dois tubulões, além da parede que faz a função de contenção do talude de aterro e serve de apoio para a laje de transição.
Cortina	Incorporada à estrutura do encontro. Possui também alas nas extremidades.

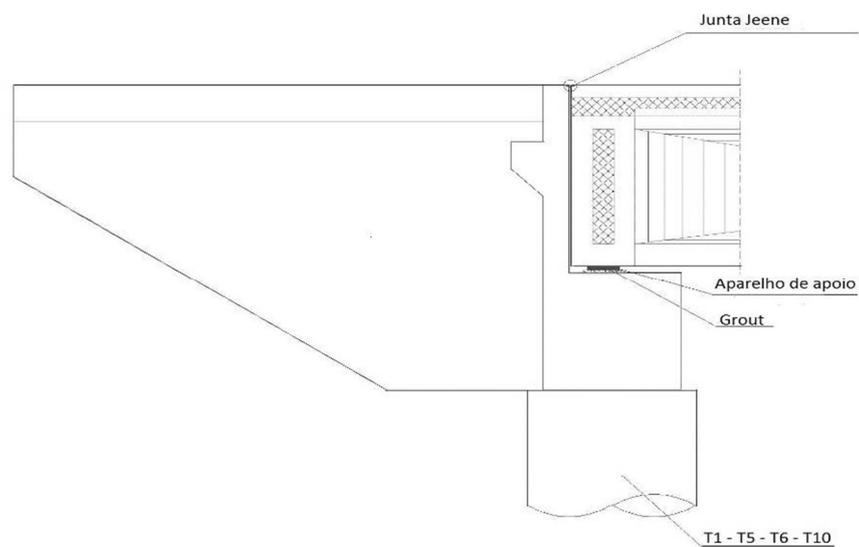
A Figura 4.48 mostra detalhes de projeto, com as principais características geométricas da ponte nova.



(a) Vista longitudinal da ponte nova.



(b) Seção transversal da ponte nova.



(c) Detalhes dos encontros.

Figura 4.48 – Detalhes de projeto da ponte nova sobre o Rio Paraopeba (DNIT, 2006).

A Figura 4.49 apresenta algumas fotos da execução da ponte nova.



(a) Execução da infraestrutura.



(b) Execução da mesoestrutura.



(c) Vigas pré-moldadas utilizadas na superestrutura.

Figura 4.49 – Execução da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.

#### 4.3.3 Inspeções anteriores

Após a conclusão das obras de duplicação da rodovia, as primeiras inspeções foram realizadas pela concessionária Triunfo-Concebra, responsável pela concessão deste segmento da rodovia BR-262 a partir de março de 2014. Foi realizada uma inspeção cadastral em 11 de abril de 2014 e inspeções rotineiras são realizadas anualmente. Os principais danos identificados nas inspeções já realizadas são apresentados no Quadro 4.14.

Quadro 4.14 – Principais danos identificados nas inspeções já realizadas.

Ponte	Ano	Danos Identificados
Reabilitada	2014	Diminuição da seção transversal da via, devido à criação de um passeio para pedestres no local onde seria o acostamento, separado da pista por uma barreira New Jersey, causando risco de colisão frontal; Vegetação sem manutenção; Passeio com detritos.
Reabilitada	2015	Erosão nos taludes; Problemas no sistema de drenagem e infiltrações nos encontros; Trincas nas alas; Concreto deteriorado nas barreiras de segurança; Problemas de manutenção em pingadeira e drenos.
Reabilitada	2016	Infiltrações nos encontros.
Nova	2014	Estreitamento de pista devido aos mesmos motivos citados para a ponte reabilitada; Passeio com detritos.
Nova	2015	Erosão nos taludes; Problemas no sistema de drenagem e infiltrações nos encontros; Trincas nas alas; Concreto deteriorado nas barreiras de segurança; Problemas de manutenção em pingadeira e drenos.
Nova	2016	Na ficha de inspeção rotineira não constam danos.

A concessionária adota a metodologia do DNIT para a avaliação das pontes sob sua responsabilidade. Para cada ponte inspecionada, são atribuídas notas técnicas de acordo com os critérios estabelecidos pela norma DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b). A Figura 4.50 demonstra, através de um gráfico, a evolução das notas técnicas atribuídas às duas pontes nas inspeções realizadas no período de 2014 a 2016.

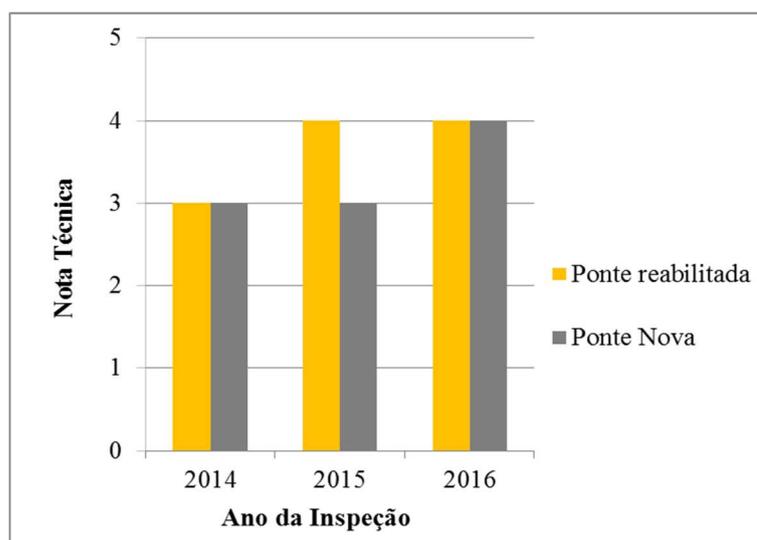


Figura 4.50 – Evolução das notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Rio Paraopeba, de acordo com a norma DNIT 010/2004.

Verifica-se no gráfico que as notas técnicas da ponte reabilitada tiveram um crescimento entre a inspeção cadastral e as inspeções rotineiras, que por sua vez ficaram inalteradas durante o período avaliado. No caso da ponte nova, embora os defeitos identificados nas duas primeiras inspeções tenham sido os mesmos da ponte reabilitada, sua nota técnica ficou inalterada e somente foi igualada à nota da outra ponte na última inspeção. Isso demonstra o quanto as notas técnicas foram influenciadas pelo fator da subjetividade inerente à metodologia do DNIT, onde a avaliação pode variar conforme a interpretação de cada inspetor.

Ao analisar os relatórios das inspeções, verifica-se que os principais danos identificados são comuns às duas pontes. Considerando que não constam nos relatórios informações relativas ao surgimento de novos defeitos, ao agravamento daqueles identificados na inspeção cadastral ou à realização de reparos nessas pontes durante o período de avaliação, pode-se concluir que as variações das notas técnicas estão relacionadas apenas a questão da subjetividade. As duas pontes, por sua vez, tiveram um desempenho muito semelhante neste período.

#### 4.3.4 Resultado das inspeções realizadas em 2017

As pontes foram vistoriadas no dia 18 de abril de 2017, seis anos e oito meses após a construção da ponte nova e cinco anos e nove meses após as intervenções de alargamento e reforço da ponte antiga. Foram realizadas inspeções visuais, seguindo os critérios estabelecidos pelas normas NBR 9452 (ABNT, 2016) e DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b) e pela metodologia GDE-UnB (VERLY, 2015), com o objetivo de avaliar o estado atual das duas pontes. Foram realizados também ensaios não destrutivos apenas para verificação do cobrimento das armaduras, por meio de um equipamento detector de metais da marca Bosh, modelo D-tect 150 Professional. As fichas de inspeção e os resultados dos ensaios de pacometria são apresentados nos apêndices C e F deste trabalho, respectivamente.

##### 4.3.4.1 Inspeção realizada na ponte reabilitada

São descritas a seguir as condições atuais de cada elemento constituinte da ponte reabilitada, assim como os principais danos ou anomalias identificados durante a inspeção.

###### A) Pista de Rolamento

Conforme já havia sido relatado em inspeções anteriores, há um estreitamento de pista na ponte devido à existência de um passeio de pedestres no local onde, segundo o projeto, deveria haver a continuidade do acostamento. O pavimento estava em boas condições: sem buracos ou defeitos mais graves, existindo apenas trilhas de rodas e ondulações leves nos acessos da ponte e alguns remendos que geram irregularidades na pista. Observa-se um leve assentamento do aterro na saída da ponte, que causou inclusive um desalinhamento vertical da barreira de segurança. A sinalização horizontal apresentava desgaste e não havia placas de advertência alertando sobre o estreitamento de pista na entrada da ponte. Foram identificadas diversas manifestações patológicas nas barreiras de segurança e guarda-corpo, como fissuras, armaduras expostas e/ou oxidadas, manchas e falhas de concretagem. Por meio dos ensaios de pacometria, verificou-se a adoção de cobrimentos menores de armadura nas barreiras de segurança em desacordo com o projeto, o que pode justificar o surgimento precoce de danos relacionados à corrosão da armadura. As juntas de dilatação estavam completamente obstruídas pelo revestimento asfáltico, impedindo a livre movimentação da superestrutura da

ponte e propiciando o acúmulo de umidade e a deterioração do material de vedação. As cortinas apresentaram trincas horizontais, com infiltração de água, provavelmente associadas à falha de concretagem e problemas no sistema de drenagem, além de alguns pontos de corrosão de armadura. Alguns drenos estavam parcialmente obstruídos, devido ao acúmulo de detritos na pista de rolamento ou na passarela. A Figura 4.51 mostra as condições da pista de rolamento, incluindo estrutura de contenção, dispositivos de sinalização e segurança viária.



(a) Vista geral da ponte – sentido Belo Horizonte – Bom Despacho.



(b) Vista geral da ponte – sentido Bom Despacho - Belo Horizonte.



(c) Estreitamento de pista na ponte.



(d) Remendo no pavimento e sinalização horizontal desgastada (zebrado).



(e) Desalinhamento vertical da barreira New Jersey.



(f) Manchas e fissura vertical na barreira New Jersey.



(g) Falha de concretagem no guarda-corpo.



(h) Corrosão de armadura no guarda-corpo.



(i) Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico.



(j) Crescimento de vegetação sobre a junta de dilatação obstruída.



(k) Trinca horizontal na cortina 1, com infiltração de água.



(l) Infiltração de água na cortina 2.



(m) Corrosão de armadura na face inferior da cortina 2.



(n) Acúmulo de detritos na passarela, provocando a obstrução dos drenos.

Figura 4.51 – Condições da pista de rolamento da ponte reabilitada sobre o Rio Paraopeba.

## B) Superestrutura

A superestrutura apresenta alguns danos que podem trazer prejuízos relacionados à durabilidade, mas sem comprometimento da sua integridade estrutural. Os danos mais graves identificados nesta ponte estão na superestrutura e se concentraram na face inferior da laje, que não recebeu nenhuma intervenção de reforço estrutural, apenas serviços de recuperação de fissuras. Foram observados alguns pontos de infiltração na laje, com manchas de eflorescência, que são sintomas do fenômeno da lixiviação. Esse fenômeno pode levar a um aumento da porosidade do concreto, diminuindo sua resistência e o tornando mais vulnerável a outros ataques (HELENE, 2003). Havia alguns deslocamentos e armaduras expostas. Outro problema recorrente estava relacionado aos drenos e pingadeiras, que não estão desempenhando bem o seu papel, permitindo a percolação de água pela laje nos dois balanços laterais da ponte. Havia ainda drenos antigos que não foram devidamente tratados e estão causando pontos de infiltração nos balanços laterais da laje. Foram verificadas falhas de concretagem pontuais nas longarinas, onde foi realizado o serviço de apicoamento na face inferior para receber a nova camada de concreto, mas os locais onde se apoiam os pilares não foram recompostos, deixando exposta parte da armadura. Esse procedimento adotado está em desacordo com o projeto, que previa a execução do reforço em toda a face inferior da longarina. As medições realizadas com o pacômetro apresentaram espessuras de cobrimento insuficientes em algumas faces das longarinas e na laje, inclusive na sua parte alargada. A Figura 4.52 mostra a situação em que se encontra a superestrutura desta ponte.



(a) Vista inferior do tabuleiro.



(b) Vista lateral da superestrutura no lado direito da ponte.



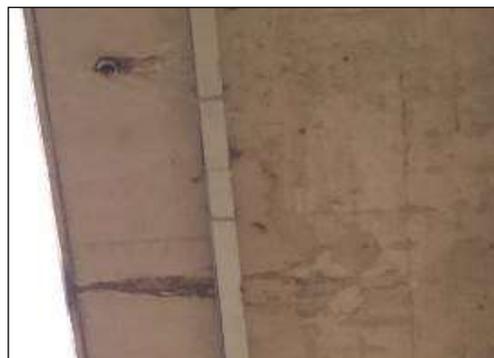
(c) Falha de concretagem, com armadura exposta em uma longarina.



(d) Falha de concretagem, com armadura exposta em uma transversina.



(e) Manchas de infiltração na face inferior da laje, indicando falha no sistema de drenagem.



(f) Falha na pingadeira e nos drenos, com água percolando pela laje.



(g) Manchas de infiltração na laje oriunda de drenos antigos.



(h) Armadura exposta e manchas de eflorescência na face inferior da laje.



(i) Armadura exposta e deslocamentos na face inferior da laje.



(j) Manchas de infiltração e lixiviação na face inferior da laje.

Figura 4.52 – Situação da superestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Paraopeba.

### C) Mesoestrutura

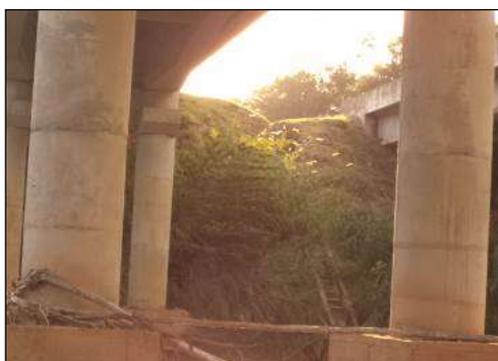
A mesoestrutura encontra-se em bom estado de conservação, tendo sido identificadas apenas falhas de concretagem pontuais em três pilares, mas que não causam nenhum tipo de insuficiência estrutural. Verificou-se que os pilares possuem atualmente a seção transversal circular, diferente do projeto de reforço que previa o aumento da seção dos pilares mantendo seu formato octogonal, mas isso não interfere no seu desempenho, desde que tenha sido mantida sua capacidade portante. Observou-se a presença de restos de argamassa no topo de um pilar, sendo recomendada sua limpeza a fim de se evitar algum tipo de prejuízo ao funcionamento adequado do aparelho de apoio, bem como para facilitar a sua inspeção. Os ensaios de pacometria apontaram cobertura insuficiente apenas nas vigas de contraventamento dos pilares. A Figura 4.53 mostra a situação atual dos elementos da mesoestrutura desta ponte.



(a) Vista geral da mesoestrutura.



(b) Falha de concretagem no pilar P9.



(c) Falha de concretagem, com fissuras transversais nos pilares P5 e P6.



(d) Presença de restos de argamassa próximos a um aparelho de apoio.

Figura 4.53 – Situação da mesoestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Paraopeba.

#### D) Infraestrutura

Foi possível visualizar apenas seis blocos de reforço da fundação, tendo em vista que os demais estão abaixo do nível do terreno. Todos se encontram em perfeitas condições de conservação e não há nenhum sinal de recalque ou deslocamento de fundação em toda a ponte. Foram identificados apenas alguns problemas de erosão nos taludes das duas extremidades da ponte que precisam ser corrigidos a fim de se evitar a ocorrência futura de algum tipo de instabilidade na fundação ou na contenção da pista. Verificou-se a existência de partes expostas de algumas estacas raiz, contrariando o projeto que previa a execução das estacas enterradas. Essa exposição das estacas traz prejuízos a sua durabilidade e ainda diminui a contribuição do atrito lateral para o ganho de capacidade de carga da fundação. Foi observada ainda a retenção de detritos trazidos pelo rio nos blocos de reforço que foram incorporados aos pilares. A presença dos blocos aumenta a área dos obstáculos que os apoios oferecem ao fluxo de água do rio e por isso contribui para a retenção desses detritos, demandando serviços de manutenção rotineira para limpeza desses dispositivos. A Figura 4.54 mostra os principais danos identificados na infraestrutura desta ponte.



(a) Acúmulo de detritos nos blocos de reforço e parte expostas das estacas raiz nos apoios sobre o rio.



(b) Erosão no talude da pista na extremidade da cortina 2.

Figura 4.54 – Situação da infraestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Paraopeba.

São apresentados no Quadro 4.15, para cada metodologia de avaliação adotada, a nota técnica atribuída, sua respectiva classificação e as ações corretivas recomendadas.

Quadro 4.15 – Resultados da inspeção da ponte rehabilitada sobre o Rio Paraopeba.

<b>Metodologia</b>	<b>Nota Técnica</b>	<b>Classificação</b>	<b>Ação Corretiva</b>
DNIT	4	Condição Boa – obra sem problemas importantes.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
GDE-UnB	32,32	Nível de deterioração médio.	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
ABNT (Estrutural)	4	Condição Boa –A estrutura apresenta danos pequenos, sem comprometer a segurança estrutural.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
ABNT (Funcional)	4	Condição Regular - A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
ABNT (Durabilidade)	3	Condição Regular - A OAE apresenta moderadas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.	Os defeitos requerem ações de médio prazo.

#### 4.3.4.2 Inspeção realizada na ponte nova

São descritas a seguir as condições atuais de cada elemento constituinte da ponte nova, assim como os principais danos ou anomalias identificados durante a inspeção.

##### A) Pista de Rolamento

A ponte nova apresenta estreitamento de pista pelos mesmos motivos da ponte antiga. O pavimento estava em boas condições, existindo apenas algumas trilhas de rodas e ondulações leves nos acessos. Foi observado um desalinhamento vertical da barreira de segurança, devido a um assentamento do aterro na entrada da ponte. A sinalização horizontal apresentava algum desgaste e havia uma placa danificada. Foram identificadas diversas manifestações patológicas nas barreiras de segurança e guarda-corpo, como fissuras, armaduras expostas e/ou oxidadas, manchas e falhas de concretagem. As medições realizadas com o pacômetro

apontaram espessuras de cobertura insuficientes, o que pode justificar o surgimento precoce de danos relacionados à corrosão de armadura. As juntas de dilatação estavam completamente obstruídas pelo revestimento asfáltico, impedindo a livre movimentação da superestrutura da ponte e propiciando o acúmulo de umidade e a deterioração do material de vedação. Alguns drenos encontravam-se parcialmente obstruídos, devido ao acúmulo de detritos na pista ou na passarela. A Figura 4.55 mostra as condições da pista de rolamento, incluindo estrutura de contenção, dispositivos de sinalização e segurança viária.



(a) Vista geral da ponte – sentido Belo Horizonte – Bom Despacho. No detalhe, estreitamento de pista no acostamento.



(b) Vista geral da ponte – sentido Bom Despacho - Belo Horizonte.



(c) Trilhas de roda e ondulações no pavimento da pista de acesso.



(d) Desalinhamento da barreira New Jersey.



(e) Placa de sinalização danificada.



(f) Corrosão de armadura, manchas e fissura vertical na barreira New Jersey



(g) Falha de concretagem, com deslocamento no guarda-corpo.



(h) Fissura com abertura de 0,65mm no guarda-corpo.



(i) Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico.



(j) Acúmulo de detritos na passarela, provocando a obstrução dos drenos.

Figura 4.55 – Condições da pista de rolamento da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.

## B) Superestrutura

Os principais problemas patológicos identificados na superestrutura estavam relacionados ao mau desempenho do sistema de drenagem, que em sua maioria não se mostrou eficiente, permitindo a percolação de água pela laje nos dois balanços laterais da ponte e também nas vigas principais. Observou-se que muitos drenos possuíam comprimento insuficiente para afastar o fluxo de água da superestrutura e também havia infiltração ao redor dos drenos. Foram verificadas outras infiltrações pontuais nos vãos da laje, com destaque para uma infiltração no segundo vão, que propiciou inclusive o crescimento de vegetação entre duas placas de pré-lajes, podendo provocar a biodeterioração do concreto. Foram verificadas falhas de concretagem pontuais em algumas longarinas e transversinas que a princípio não causam insuficiência estrutural, mas podem comprometer sua durabilidade. Nos ensaios de pacometria, verificou-se cobrimento insuficiente na face inferior de algumas longarinas e nas pré-lajes. A Figura 4.56 mostra a situação em que se encontra a superestrutura desta ponte.



(a) Vista inferior do tabuleiro.



(b) Vista lateral da superestrutura.



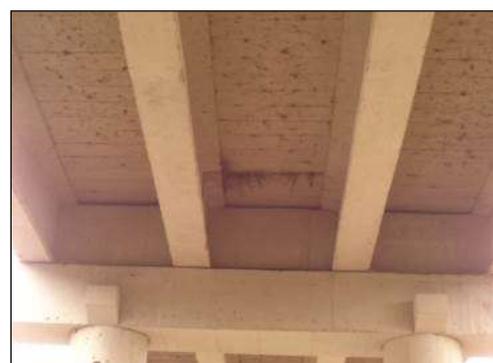
(c) Mancha de infiltração ao redor de um dreno.



(d) Mancha na viga principal decorrente do mau funcionamento de um dreno.



(e) Manchas de infiltração na laje e na longarina, decorrentes de falhas na drenagem.



(f) Crescimento de vegetação entre duas placas de pré-lajes.



(g) Falha de concretagem na face inferior de uma longarina.

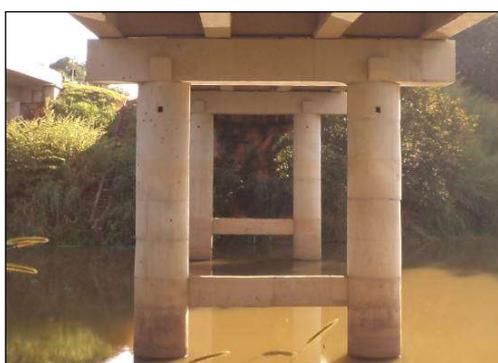


(h) Falha de concretagem, com armadura exposta na mesa superior de uma das longarinas.

Figura 4.56 – Situação da superestrutura da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.

### C) Mesoestrutura

Os danos mais graves identificados nesta ponte estão localizados na mesoestrutura, sobretudo nos dois encontros. Ambos apresentam danos que podem comprometer a sua durabilidade, como excesso de umidade, infiltração de água, manchas de eflorescência e corrosão de armadura em pontos localizados. Além disso, os dois encontros apresentam trincas em suas laterais, com abertura variando entre 1,4 e 2,0 mm, causada pela flexão das paredes desses elementos. Essa flexão provavelmente foi causada pelo assentamento do aterro na pista de acesso, que resultou no afundamento das alas que são engastadas nos encontros. A obstrução das juntas de dilatação também pode ter contribuído para essa flexão da parede do encontro, em função da restrição à movimentação da superestrutura da ponte. A princípio essas trincas não afetam a segurança estrutural dos encontros, mas facilitam a penetração de agentes deletérios, que podem causar outros danos a esses elementos. Foi observada também a existência de detritos e muita umidade no apoio das longarinas nos encontros, sendo recomendada sua limpeza a fim de se evitar prejuízos ao funcionamento adequado dos aparelhos de apoio. Já os apoios intermediários estavam em boas condições de conservação, sendo identificadas apenas algumas falhas de concretagem pontuais, além do desgaste superficial por erosão nas partes dos pilares que ficam parcialmente submersos. Nos ensaios de pacometria, verificou-se cobertura insuficiente nos pilares e no encontro do lado de Juatuba. A Figura 4.57 mostra a situação atual dos elementos da mesoestrutura.



(a) Vista geral da mesoestrutura.



(b) Excesso de umidade e manchas de eflorescência no encontro do lado de Juatuba.



(c) Corrosão de armadura no encontro do lado de Juatuba.



(d) Sujeira e umidade no apoio de uma longarina no encontro.



(e) Falha de concretagem na parede do encontro, com armadura exposta.



(f) Excesso de umidade e eflorescências no encontro do lado de Betim.



(g) Trinca no encontro do lado de Betim.



(h) Verificação da abertura da trinca com a utilização do fissurômetro.



(i) Falha de concretagem, manchas e desgaste superficial por erosão em um pilar parcialmente submerso.



(j) Falha de concretagem em um pilar.

Figura 4.57 – Situação da mesoestrutura da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.

#### D) Infraestrutura

Apesar de não estar visível, a infraestrutura encontra-se aparentemente em bom estado de conservação, considerando que não há nenhum sinal de recalque ou deslocamento de fundação em toda a ponte. Foram identificadas apenas algumas erosões nos taludes das duas extremidades da ponte, que precisam ser corrigidos a fim de se evitar a ocorrência futura de algum problema de instabilidade na fundação ou na contenção da pista. A situação da infraestrutura desta ponte é mostrada na Figura 4.58.



(a) Erosão no talude da pista próximo ao encontro do lado de Betim.



(b) Erosão no talude da pista próximo ao encontro do lado de Juatuba.

Figura 4.58 – Situação da infraestrutura da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.

São apresentados no Quadro 4.16, para cada metodologia de avaliação adotada, a nota técnica atribuída, sua respectiva classificação e as ações corretivas recomendadas.

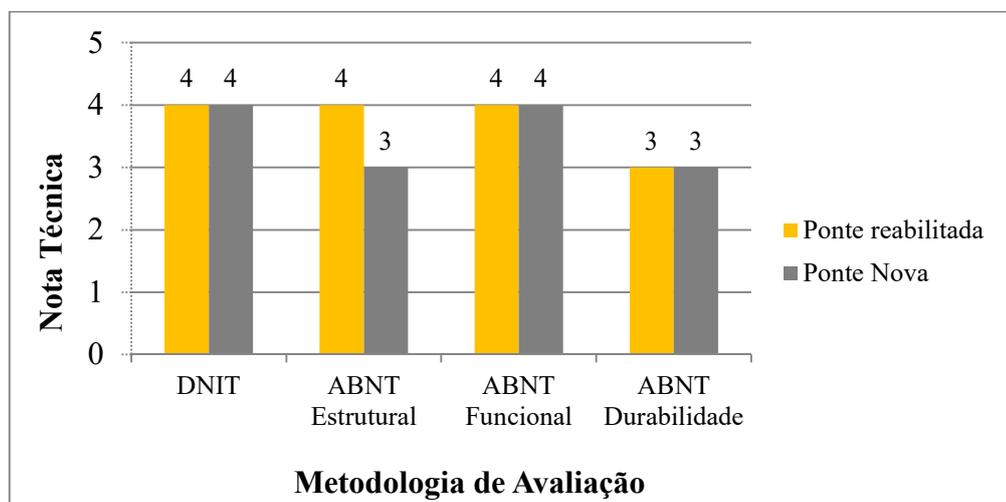
Quadro 4.16 – Resultados da inspeção da ponte nova sobre o Rio Paraopeba.

Metodologia	Nota Técnica	Classificação	Ação Corretiva
DNIT	4	Condição Boa – obra sem problemas importantes.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
GDE-UnB	32,22	Nível de deterioração médio.	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
ABNT (Estrutural)	3	Condição Regular - Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.

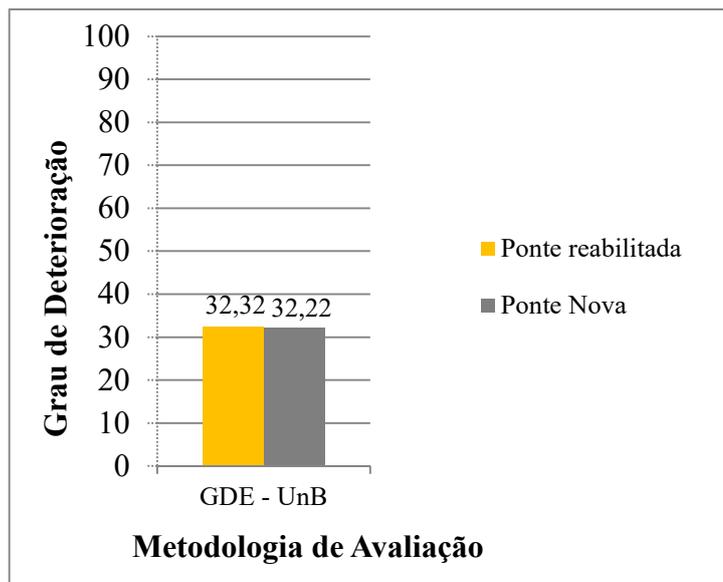
ABNT (Funcional)	4	Condição Boa - A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
ABNT (Durabilidade)	3	Condição Regular - A OAE apresenta moderadas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.	Os defeitos requerem ações de médio prazo.

#### 4.3.5 Comparação entre as pontes sobre o Rio Paraopeba

De maneira geral, as duas pontes apresentaram um desempenho satisfatório, não existindo nenhum dano significativo que possa afetar a sua integridade estrutural ou a sua funcionalidade. A Figura 4.59 demonstra, através de gráficos, as notas técnicas atribuídas a cada ponte, segundo diferentes metodologias de avaliação.



(a) Avaliação segundo metodologias DNIT e ABNT



(b) Avaliação segundo metodologia GDE-UnB

Figura 4.59 – Notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Rio Paraopeba.

Neste estudo de caso, observa-se uma convergência dos resultados em quase todas as comparações. Independentemente da metodologia de avaliação utilizada, as duas pontes receberam notas técnicas equivalentes e ao mesmo tempo fiéis à realidade, com exceção apenas da avaliação seguindo o parâmetro estrutural da ABNT, que apontou um desempenho inferior da ponte nova devido à existência de trincas nas paredes do encontro. Esses mesmos danos não influenciaram tanto as outras avaliações, por ainda não estarem gerando nenhum tipo de insuficiência estrutural no elemento afetado. De acordo com as notas técnicas atribuídas, observa-se que no geral as duas pontes apresentaram um bom desempenho.

De acordo com a metodologia do DNIT, para ambas as pontes, recomenda-se apenas a realização de serviços de manutenção. As notas técnicas foram atribuídas em função de pequenos danos que foram identificados, mas que ainda não geram insuficiência estrutural. Apesar da boa avaliação, ressalta-se que alguns serviços de manutenção necessitam ser realizados no curto prazo, pois podem evoluir e comprometer a durabilidade da ponte.

As notas técnicas da ponte nova, segundo os parâmetros estrutural e de durabilidade da ABNT, foram influenciadas negativamente pela existência das trincas nos encontros. Além disso, o estreitamento da pista nas duas pontes prejudicou suas notas técnicas no parâmetro funcional e as erosões nos taludes das pistas de acesso afetaram suas notas no parâmetro da durabilidade. Ressalta-se que, embora a interrupção do acostamento sobre a ponte seja uma

anomalia importante, o quadro referencial da norma NBR-9452 (ABNT, 2016) que apresenta a classificação indicada para cada problema relacionado ao parâmetro funcional não trata especificamente esse tema, motivo pelo qual foi atribuída uma nota técnica de acordo com uma decisão interpretativa do inspetor. De acordo com as classificações obtidas por esta metodologia, foram recomendadas ações em médio prazo para a correção das anomalias que afetam a durabilidade da ponte nova, referentes às trincas nos encontros. No caso da ponte reabilitada, recomendam-se ações no médio prazo para a correção dos defeitos que afetam a sua durabilidade, especialmente a correção das erosões nos taludes dos encontros.

As notas atribuídas pelo critério de avaliação da metodologia GDE-UnB retratam bem a situação das duas pontes, que apresentam níveis de deterioração semelhantes e um desempenho satisfatório. Foram recomendadas intervenções em longo prazo para as duas pontes. Ao considerar apenas os graus de deterioração das pontes, alguns problemas não impactaram suficientemente a sua avaliação global. Se fossem considerar apenas as notas técnicas de alguns elementos em separado, estas recomendariam intervenções em médio prazo, a exemplo do que foi recomendado pela metodologia ABNT segundo os parâmetros estrutural e de durabilidade. Portanto, ao adotar a metodologia GDE-UnB, é importante analisar as notas técnicas de cada elemento, sob risco de ignorar algum defeito que seja pontual e ao mesmo necessite intervenções em menor prazo.

Os danos mais graves identificados na ponte reabilitada estão localizados na face inferior da laje e nas cortinas, ou seja, em locais onde não ocorreram intervenções de reforço ou alargamento. De maneira geral, os elementos que receberam aumento de seção transversal (pilares, longarinas e sobrelaje), os elementos de reforço da infraestrutura e os balanços da laje que foram alargados apresentaram bom desempenho. Assim, pode-se concluir que as intervenções de alargamento e reforço realizadas foram bem sucedidas. Porém, a reabilitação da ponte não pode ser considerada eficaz, visto que as atividades de recuperação não trataram devidamente todos os problemas patológicos que existiam antes das intervenções. A reabilitação deveria ter proporcionado um aumento da vida útil de todos os elementos constituintes da ponte.

A exemplo das pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme, existem anomalias comuns às duas pontes (estreitamento de pista, sistema de drenagem ineficiente e obstrução das juntas de dilatação com o revestimento asfáltico). Além disso, dispositivos de concreto novos como

barreiras New Jersey e guarda-corpo apresentaram problemas patológicos de forma precoce. Observou-se a adoção de espessuras de cobertura nas barreiras de segurança em descordo com o projeto, o que pode justificar a sua deterioração precoce.

Analisando os dados obtidos durante as inspeções e considerando o nível de deterioração de cada ponte, verifica-se que a ponte reabilitada teve um desempenho semelhante à ponte nova que foi construída ao lado. Portanto, pode-se concluir que neste caso o aproveitamento da estrutura existente se mostrou viável sob o ponto de vista da durabilidade, considerando ainda que os principais danos identificados na ponte reabilitada não se tratavam de reincidência de problemas patológicos tratados durante a obra ou falha nas intervenções de alargamento e reforço.

#### **4.4 Pontes sobre o Rio Pará**

As pontes sobre o Rio Pará estão localizadas na rodovia BR-262, km 431+100 m, no município de Nova Serrana, em Minas Gerais. Tem como subtrecho o acesso ao município de São Gonçalo do Pará até o entroncamento com a BR-494/MG-423, sob o código 262BMG0740 no Sistema Nacional de Viação – SNV de 2016, com volume médio de tráfego na ordem de 8.500 veículos por dia. A Figura 4.60 mostra uma vista geral das pontes avaliadas.

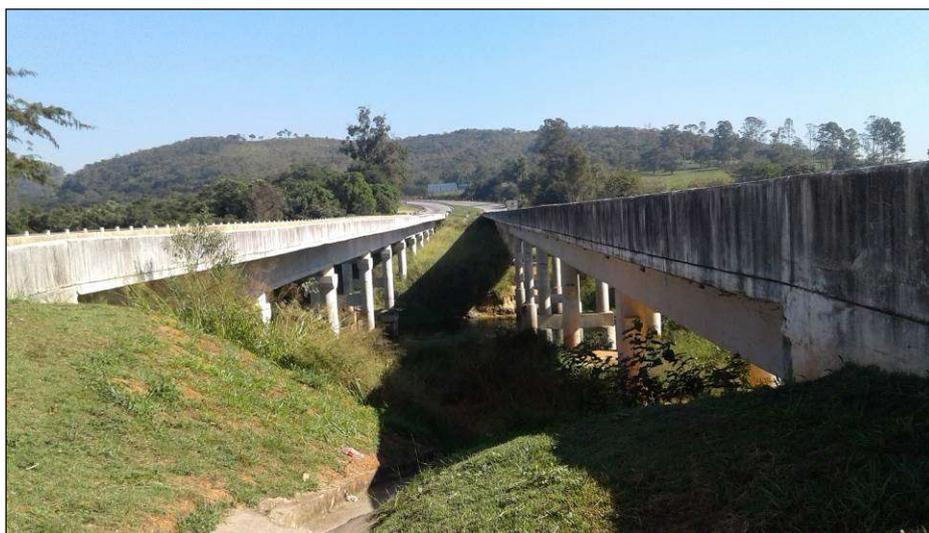


Figura 4.60 – Foto das pontes sobre o Rio Pará. À esquerda a ponte antiga reabilitada e à direita a ponte nova.

As pontes sobre o Rio Pará também estão situadas no trecho concedido da rodovia BR-262, sob responsabilidade da empresa Triunfo Concebra, distantes 61,6 quilômetros das pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme. A Figura 4.61 mostra a localização das pontes sobre o Rio Pará.

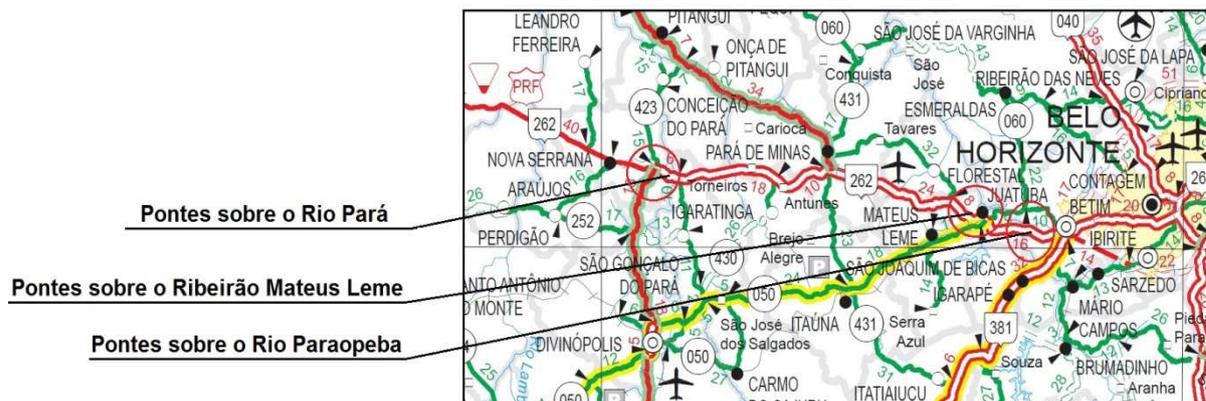


Figura 4.61 – Localização das pontes sobre o Rio Pará.  
Fonte: Adaptado de DNIT, 2013.

#### 4.4.1 Ponte Reabilitada

##### 4.4.1.1 Descrição da ponte original

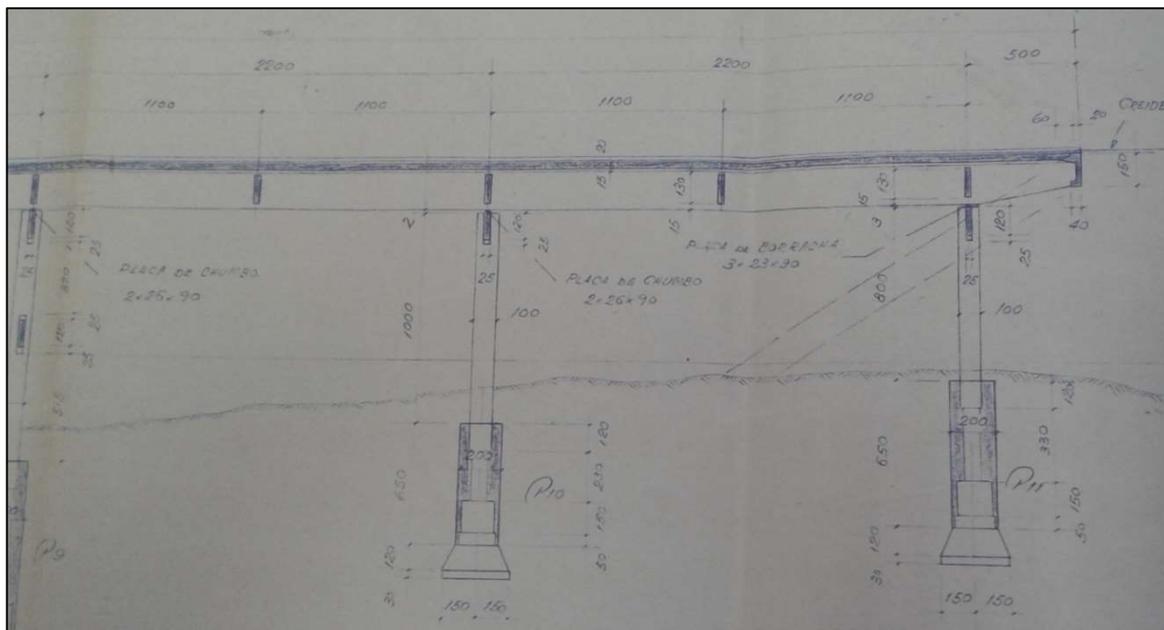
A ponte original, Classe 36 toneladas, foi projetada em 1965 pela Empresa de Pavimentação e Engenharia Ltda – EMPEL, contratada pelo extinto DNER. Foi dimensionada de acordo com as normas vigentes à época (NB-1/1960, NB-2/1960 e NB-6/1960), conforme histórico de evolução apresentado no Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004a). As principais características dessa ponte estão descritas no Quadro 4.17.

Quadro 4.17– Principais características do projeto original da ponte sobre o Rio Pará.

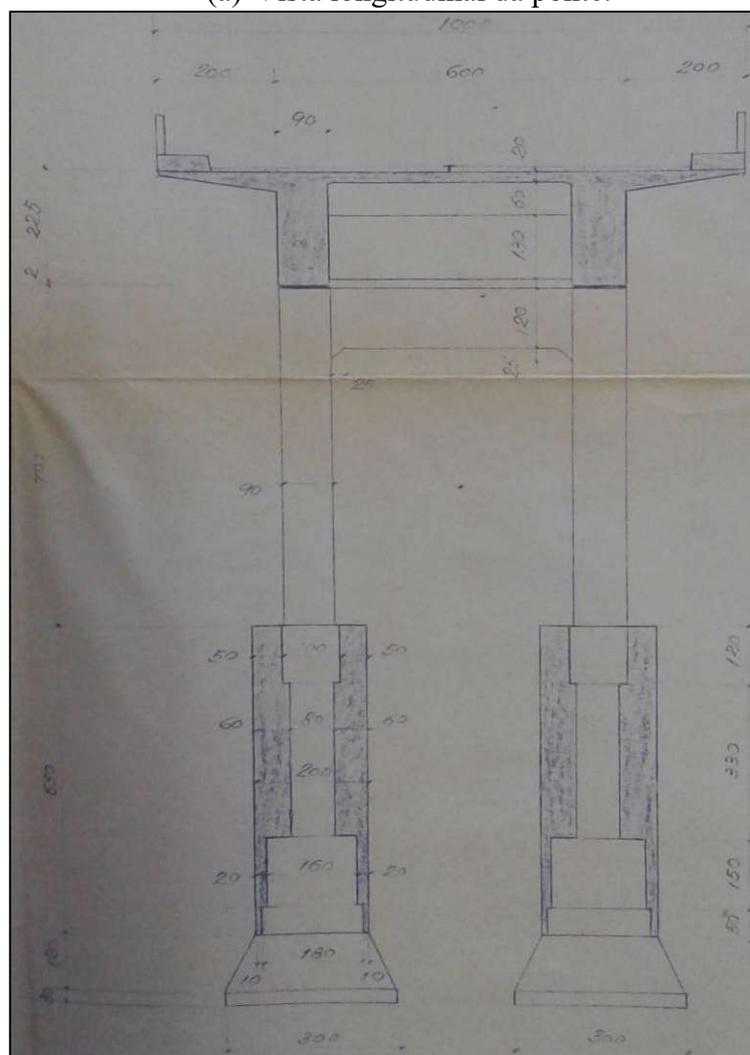
Materiais
Todos os elementos em concreto armado.
Aparelhos de apoio formados por placas de borracha nos apoios extremos e na sexta linha de apoio e articulações de chumbo nos demais pilares.
Revestimento asfáltico da pista.
Sem especificação do sistema de drenagem e das juntas de dilatação.

<b>Região</b>	
Obra situada em região ondulada.	
<b>Dados Geométricos</b>	
Ponte ortogonal ao rio e tangente à rodovia.	
Comprimento Total	230,0 metros, com dez vãos de 22,0 metros, além de dois balanços de 5,0 metros nas extremidades.
Largura total	10,00 m (pista de 8,20 m, com duas faixas de rolamento).
Acostamento	Não possui.
Guarda-rodas	Dois guarda-rodas com seção transversal de 90 x 33 cm.
Guarda-corpo	Em concreto vazado, de 15 x 78 cm sobre os guarda-rodas.
Laje	Maciça, com espessura de 20 cm no meio do vão.
Longarinas	Duas longarinas, com seção transversal variável de 43 a 90 x 225 cm.
Transversinas	22 transversinas, com seção transversal de 20 x 130 cm.
Pilares	Onze pares de pilares com seção circular, com diâmetros de 0,90 m (P1 a P5) e 1,0 m (P7 a P11), unidos por vigas de contraventamento no topo e também ao meio nos três apoios mais altos (P7, P8 e P9).
Fundação	Profunda, composta por 22 tubulões com diâmetro de 200 cm no fuste e 300 cm na base.
Laje de transição	Não possui.
Encontros	Não possui (Contenção do aterro através de cortinas e alas).
Cortina	Seção transversal de 20 x 150 cm.

A Figura 4.62 mostra a vista longitudinal dos dois últimos vãos e a seção transversal com as características geométricas da concepção da ponte original.



(a) Vista longitudinal da ponte.



(b) Seção transversal da ponte.

Figura 4.62 – Características geométricas da ponte original sobre o Rio Pará (Projeto DNER, 1965).

#### 4.4.1.2 Situação da ponte antes das intervenções de reabilitação

Devido aos mesmos motivos já expostos no caso da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme, neste caso também não foram identificadas inspeções que tenham sido realizadas antes das intervenções, o que impossibilitou o conhecimento do estado de conservação da ponte antiga antes da reabilitação. Seu projeto de recuperação também não apresenta de forma clara o diagnóstico dos problemas patológicos que possivelmente existiam antes das intervenções, indicando apenas soluções padrão para serem executadas onde fosse necessário, sem detalhar o tipo, a localização, a extensão e a intensidade de cada dano.

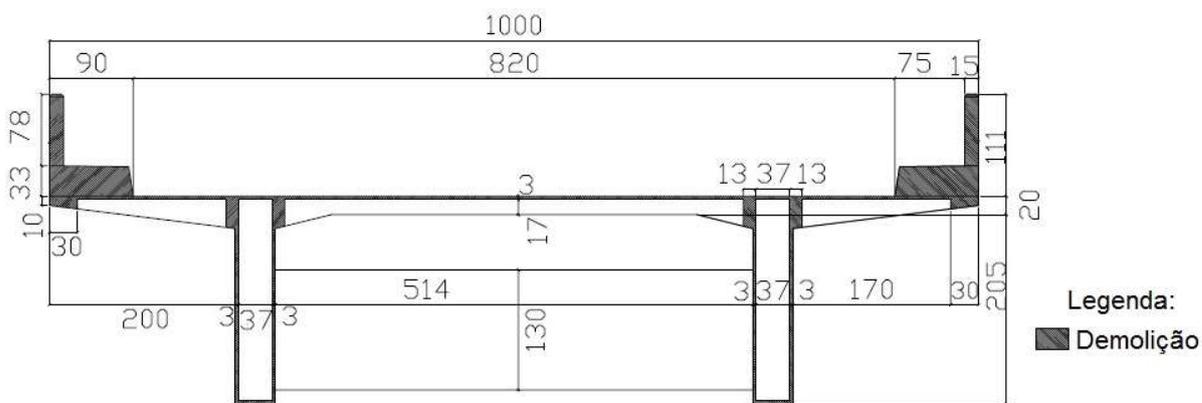
#### 4.4.1.3 Procedimentos de alargamento e reforço estrutural

O projeto de alargamento e reforço foi elaborado pela empresa Ecoplan Engenharia, em outubro de 2006 e os serviços foram executados pela empresa EIT – Empresa Industrial Técnica S/A, no período de julho de 2010 a julho de 2011, ambos contratados pelo DNIT.

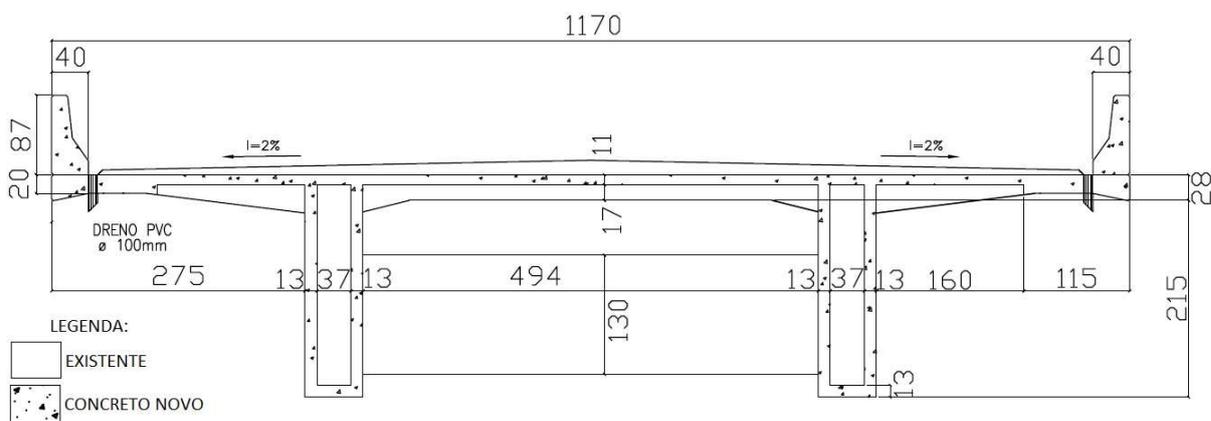
As intervenções de reabilitação da ponte tiveram por objetivo atender às novas exigências da rodovia BR-262 que passava por obras de duplicação. O projeto previa o alargamento da ponte, aumentando sua largura total de 10,0 para 11,70 metros, que correspondia à largura de cada pista após a duplicação (duas faixas de rolamento e acostamento). Foi previsto também o reforço estrutural da ponte visando readequá-la para o trem-tipo TB-45 (450 kN), a substituição dos aparelhos de apoio, do pavimento e das juntas de dilatação, o alargamento das cortinas e a troca dos guarda-rodas e guarda-corpos por barreiras de segurança do tipo New Jersey, além de intervenções de recuperação da estrutura existente.

##### A) Alargamento e reforço da superestrutura

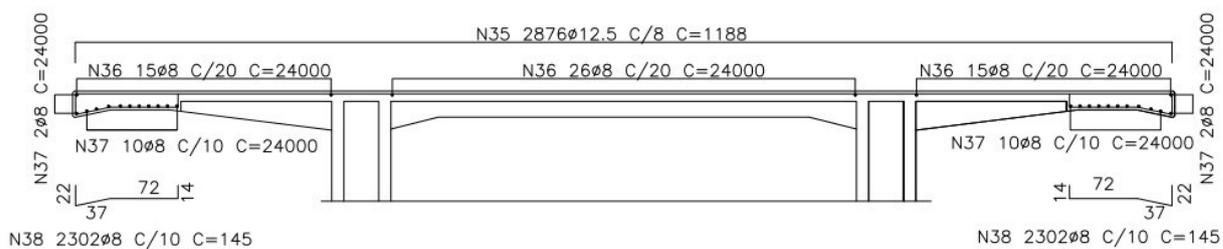
O método de alargamento adotado consistiu no aumento da largura da laje existente, sem a adição de novos apoios e de novas vigas ao tabuleiro, utilizando-se apenas concreto armado convencional. O reforço da superestrutura baseou-se no aumento da seção transversal dos elementos estruturais com acréscimo de armaduras (engrossamento das longarinas e adição de sobrelaje). Detalhes do projeto de alargamento e reforço da superestrutura são apresentados na Figura 4.63.



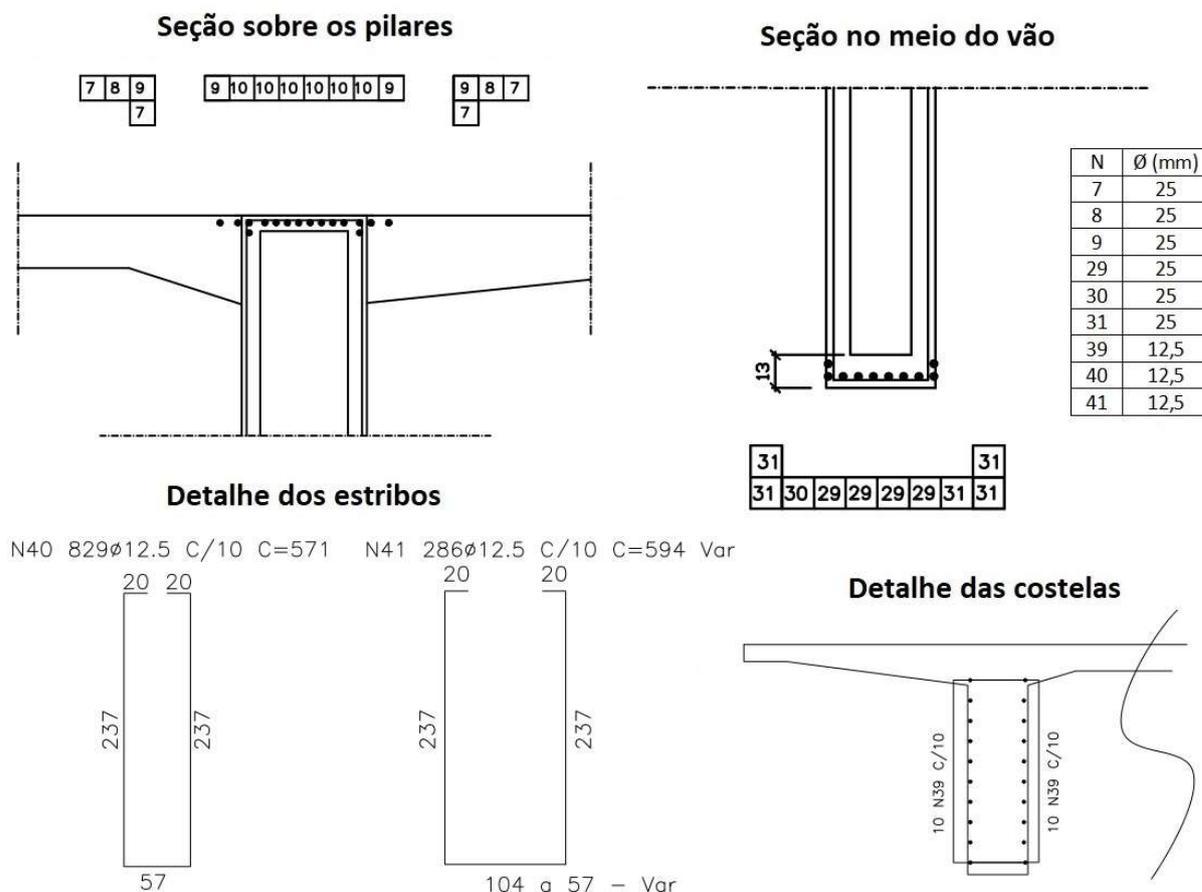
(a) Projeto de demolição.



(b) Projeto de forma e concretagem.



(c) Detalhes das armaduras do alargamento da laje e da sobrelaje.



(d) Detalhes das armaduras do reforço da longarina.

Figura 4.63 – Detalhes do projeto de alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Rio Pará (DNIT, 2006).

O projeto previa inicialmente a demolição dos guarda-corpos, dos guarda-rodas e de 30 cm nas extremidades das lajes em balanço nas laterais da ponte, além do apicoamento de 3 cm na superfície superior da laje e nas faces das duas longarinas, com objetivo de preparar a superfície, mantendo-a com aspereza suficiente para possibilitar a aderência do novo material do reforço. Em seguida, foi executada a concretagem de uma sobrelaje com espessura de 11 cm, juntamente com a nova laje cuja largura era de 1,15 m em cada lado da ponte (30 cm demolido + 85 cm do alargamento), as novas barreiras New Jersey e o reforço de 13 cm nas faces das longarinas. A resistência característica à compressão do concreto utilizado neste reforço era de 30 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. Foram instalados drenos de PVC com diâmetro de 100 mm nos dois lados da ponte.

A Figura 4.64 apresenta algumas fotos que ilustram a execução do alargamento e reforço da laje.



(a) Demolição do pavimento.



(b) Posicionamento das armaduras para execução da sobrelaje e do alargamento.

Figura 4.64 – Execução do alargamento e reforço da laje da ponte sobre o Rio Pará.

### B) Reforço da mesoestrutura

O reforço dos pilares foi realizado também com aumento da seção transversal. O procedimento previa o apicoamento da superfície de concreto, colocação de armadura adicional e concretagem da camada de reforço com 13 cm de espessura em cada face, cuja resistência característica à compressão era de 25 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. Foram implantados consoles nos topos dos pilares com objetivo de apoiar os macacos hidráulicos que foram utilizados para a substituição dos aparelhos de apoio. Os novos aparelhos de apoio instalados são móveis do tipo neoprene fretado, com espessura de 39 mm e dimensões de 35 x 45 cm nos apoios extremos e de 45 x 60 cm nos demais apoios. A Figura 4.65 mostra detalhes do projeto de reforço dos pilares.

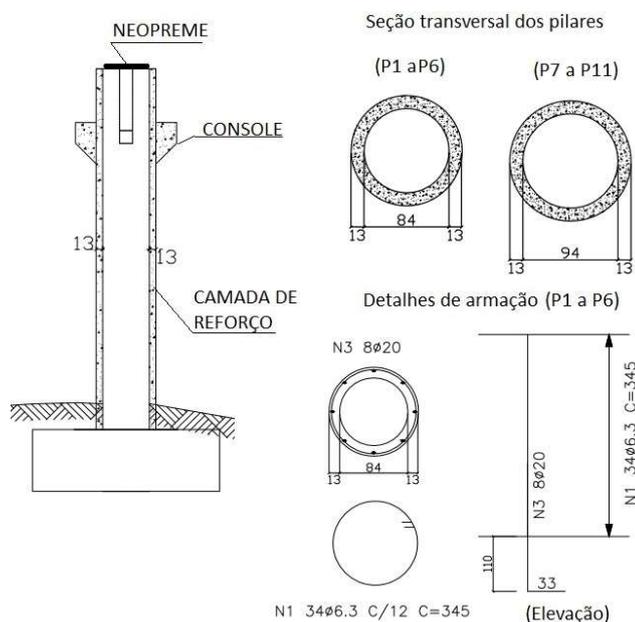


Figura 4.65 – Detalhes do projeto de reforço dos pilares da ponte sobre o Rio Pará (DNIT, 2006)

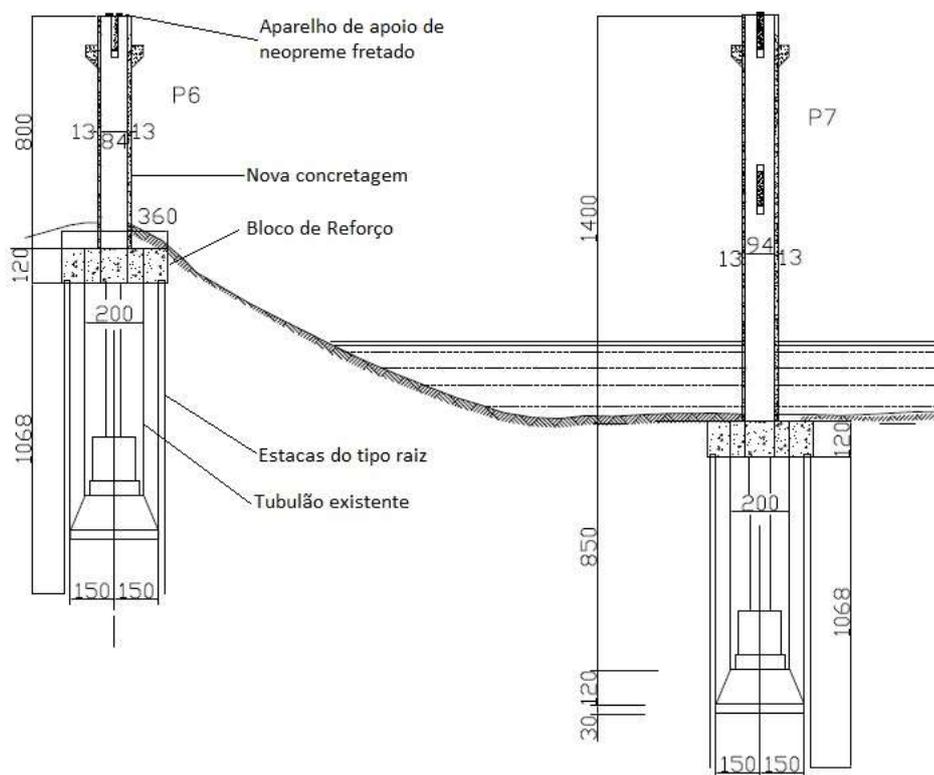
A Figura 4.66 mostra detalhes da execução da troca de aparelhos de apoio.



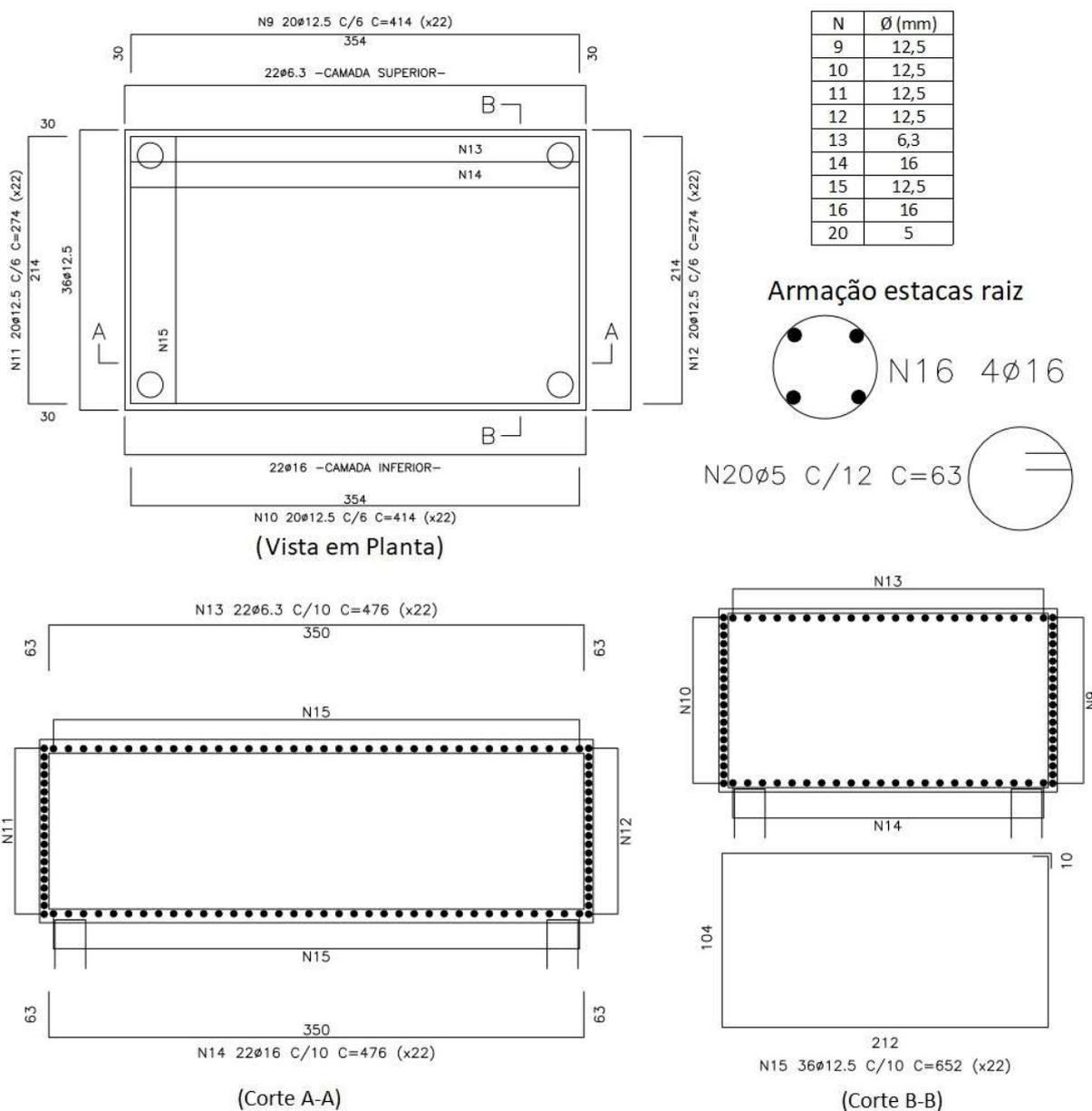
Figura 4.66 – Detalhes da execução da troca de aparelhos de apoio da ponte sobre o Rio Pará.

### C) Reforço da infraestrutura

Foram implantados vinte e dois blocos com função estrutural de reforço da infraestrutura. De acordo com o projeto, os blocos envolveriam os tubulões existentes em cada pilar e apoiam-se em quatro estacas do tipo raiz com diâmetro de 200 mm. A resistência característica à compressão do concreto utilizado neste reforço era de 25 MPa. A Figura 4.67 mostra detalhes do reforço executado na infraestrutura.



(a) Detalhes do reforço executado em dois apoios e suas respectivas fundações.



(b) Detalhes das armaduras dos blocos de reforço com dimensões de 360 x 220 x 120 cm.

Figura 4.67 – Detalhes do reforço da infraestrutura da ponte sobre o Rio Pará (DNIT, 2006).

A Figura 4.68 mostra detalhes da execução das estacas raiz e dos blocos de reforço da infraestrutura. Nota-se que os blocos de reforço foram implantados em locais distintos daqueles previstos no projeto, acima do nível de água do rio. Dessa forma, os blocos de reforço não estão ligados diretamente aos tubulões existentes, mas sim aos pilares. Verificou-se que a solução original se mostrava inexecutável em função das dimensões dos tubulões existentes e dos blocos de reforço previstos, mas essa alteração possibilitou a implantação desses elementos em função do diâmetro menor dos pilares.



(a) Execução das estacas raiz.



(b) Execução dos blocos de reforço em apoio sobre o solo.



(c) Execução dos blocos de reforço em apoios submersos.

Figura 4.68 – Execução do reforço da infraestrutura da ponte sobre o Rio Pará.

#### D) Procedimentos de recuperação da estrutura existente

Além das intervenções de alargamento e reforço estrutural, o projeto de reabilitação previu dois procedimentos para recuperação da estrutura existente: recuperação de fissuras na face inferior das lajes e recuperação das transversinas e cortinas. Esses procedimentos foram previstos para elementos que não foram reforçados e somente onde fosse necessário, seguindo a mesma sequência executiva recomendada para a ponte sobre o Rio Paraopeba.

#### 4.4.2 Ponte Nova

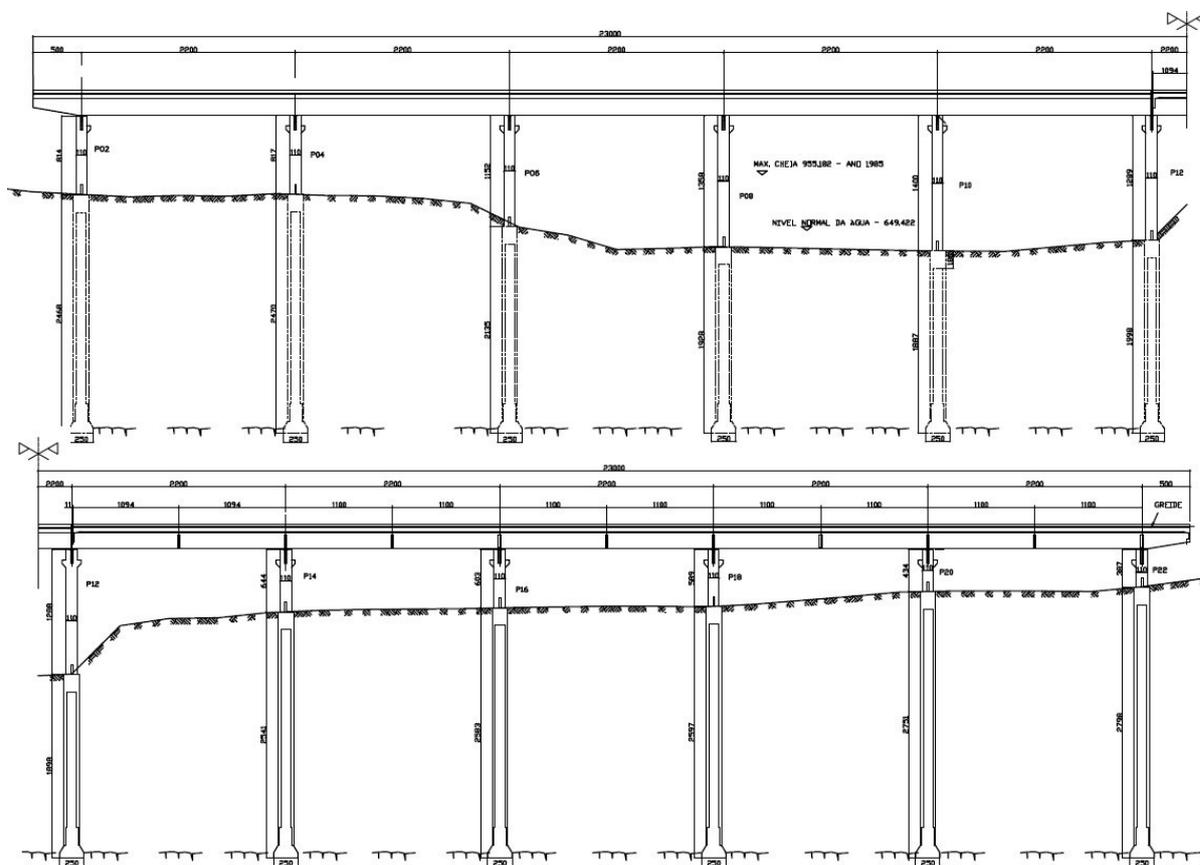
##### 4.4.2.1 Descrição da ponte nova

A ponte nova, Classe 45 toneladas, foi projetada em 2006 pela empresa Ecoplan Engenharia, contratada pelo DNIT para a elaboração dos projetos de duplicação da rodovia BR-262 entre os municípios de Betim e Nova Serrana. A obra foi executada pela empresa EIT – Empresa Industrial Técnica S/A, no período de maio de 2009 a setembro de 2010, servindo como desvio de tráfego durante as obras de reabilitação da ponte existente e a partir de julho de 2011, passou a integrar a rodovia duplicada. As principais características dessa ponte estão descritas no Quadro 4.18.

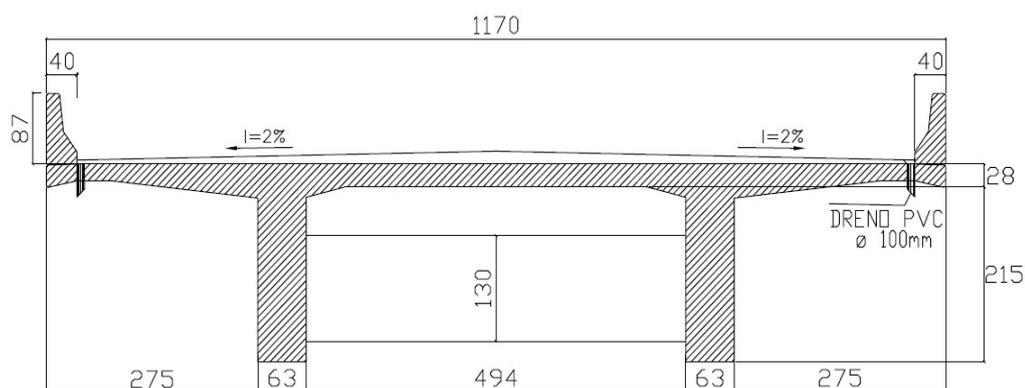
Quadro 4.18 – Principais características do projeto da ponte nova sobre o Rio Pará.

<b>Materiais</b>	
<p>Todos os elementos em concreto armado.</p> <p>22 Aparelhos de apoio móveis do tipo neoprene fretado com espessura de 3,9 cm e dimensões de 35 x 45 cm (apoios extremos) e 45 x 60 cm (apoios intermediários).</p> <p>Juntas de dilatação do tipo Jeene – JJ 2540 W ou similar nos encontros.</p> <p>Revestimento asfáltico da pista com 15,5 cm de espessura no meio da seção.</p> <p>Drenos de PVC com diâmetro de 100 mm nos dois lados da ponte.</p>	
<b>Região</b>	
Obra situada em região ondulada.	
<b>Dados Geométricos</b>	
Ponte ortogonal ao rio e tangente à rodovia.	
Comprimento Total	230,0 metros, com dez vãos de 22,0 metros, além de dois balanços de 5,0 metros nas extremidades.
Largura total	11,70 m com duas faixas de rolamento e acostamento.
Acostamento	Sim
Guarda-rodas	Barreiras de segurança do tipo New Jersey.
Guarda-corpo	Não possui.
Laje	Maciça, com espessura de 28 cm no meio do vão.
Longarinas	Duas longarinas, com seção transversal de 63 x 243 cm.
Transversinas	Vinte e duas transversinas, com seção transversal de 25 x 130 cm.
Pilares	Onze pares de pilares, ligados por vigas de contraventamento no topo e na sua base, com seção de 20 x 100 cm. Os pilares possuem seção transversal circular, com diâmetro de 110 cm.
Fundação	Profunda, composta por vinte e dois tubulões com diâmetro de 160 cm no fuste e 250 cm na base.
Laje de transição	Seção transversal de 400 cm x 25 cm.
Encontros	Não possui (extremidades em balanço).
Cortina	Seção transversal de 25 x 243 cm. Possui também alas nas extremidades.

A Figura 4.69 mostra detalhes de projeto, com as principais características geométricas da ponte nova.



(a) Vista longitudinal da ponte nova.



(b) Seção transversal da ponte nova no meio do vão.

Figura 4.69 – Detalhes de projeto da ponte nova sobre o Rio Pará (DNIT, 2006).

A Figura 4.70 apresenta algumas fotos da execução da ponte nova.

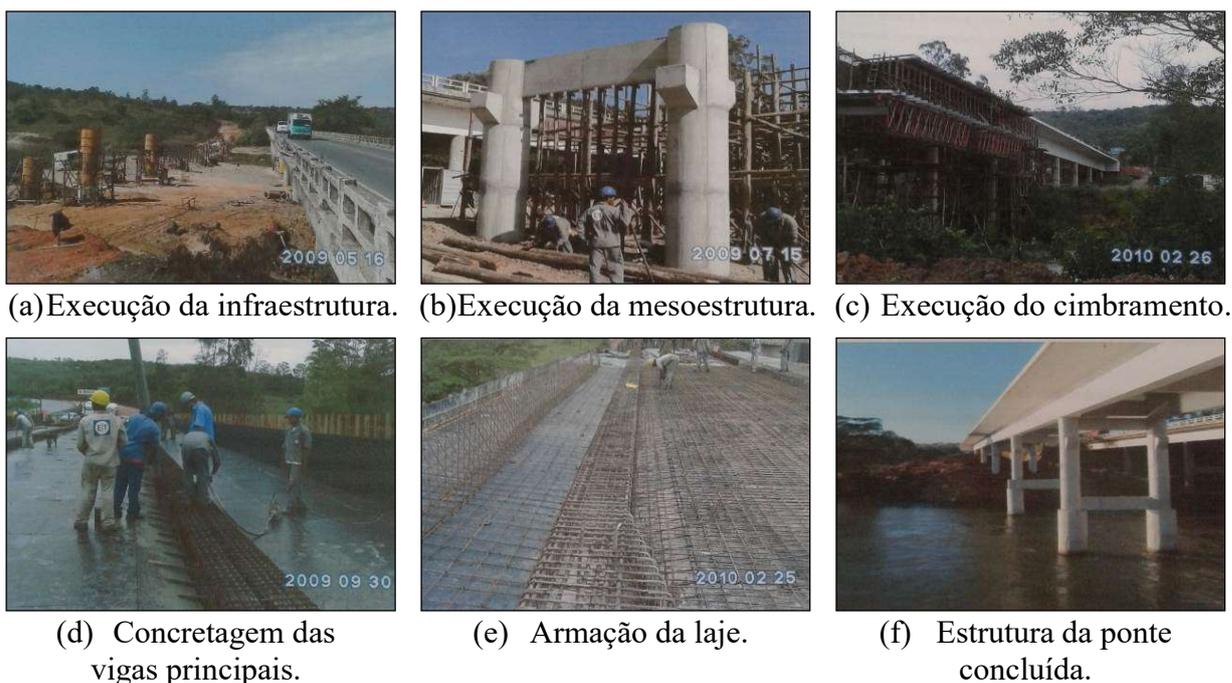


Figura 4.70 – Execução da ponte nova sobre o Rio Pará.

#### 4.4.3 Inspeções anteriores

Após a conclusão das obras de duplicação da rodovia, as primeiras inspeções foram realizadas pela concessionária Triunfo-Concebra, responsável pela concessão deste segmento da rodovia BR-262 a partir de março de 2014. Foi realizada uma inspeção cadastral em 11 de abril de 2014 e inspeções rotineiras são realizadas anualmente. Os principais danos identificados nas inspeções já realizadas são apresentados no Quadro 4.19.

Quadro 4.19 – Principais danos identificados nas inspeções já realizadas.

Ponte	Ano	Danos Identificados
Reabilitada	2014	Diminuição da seção transversal da via, devido à criação de um passeio para pedestres no local onde seria o acostamento, separado da pista por uma barreira New Jersey, causando risco de colisão frontal; Vegetação sem manutenção; Passeio com detritos; Vazio sob cortina; Defesa metálica solta.
Reabilitada	2015	Falta de proteção vegetal nos taludes; Problemas no sistema de drenagem e infiltrações nos encontros; Trincas nas alas; Concreto deteriorado nas barreiras de segurança; Problemas de manutenção em pingadeira e drenos.
Reabilitada	2016	Juntas de dilatação deterioradas.
Nova	2014	Estreitamento de pista devido aos mesmos motivos citados para a ponte reabilitada; Vegetação sem manutenção; Defesa metálica solta.

Nova	2015	Falta de proteção vegetal nos taludes; Problemas no sistema de drenagem e infiltrações nos encontros; Trincas nas alas; Concreto deteriorado nas barreiras de segurança; Problemas de manutenção em pingadeira e drenos.
Nova	2016	Juntas de dilatação deterioradas.

A concessionária adota a metodologia do DNIT para a avaliação das pontes sob sua responsabilidade. Para cada ponte inspecionada, são atribuídas notas técnicas de acordo com os critérios estabelecidos pela norma DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b). A Figura 4.71 demonstra, através de um gráfico, a evolução das notas técnicas atribuídas às duas pontes nas inspeções realizadas no período de 2014 a 2016.

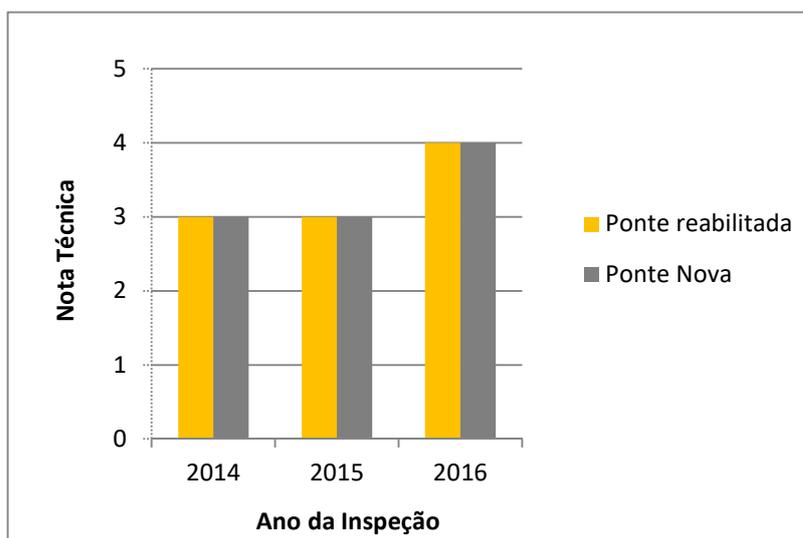


Figura 4.71 – Evolução das notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Rio Pará, de acordo com a norma DNIT 010/2004.

Verifica-se no gráfico que as duas pontes sempre tiveram desempenhos semelhantes, ficando suas notas técnicas inalteradas nas duas primeiras avaliações e igualmente aumentadas no terceiro ano de avaliação. Ao comparar os dados dos relatórios de inspeção, verifica-se que não constam informações relativas a intervenções que tenham sido realizadas pela concessionária após o segundo ano de avaliação que pudessem justificar a elevação das suas notas técnicas. Assim, pode-se concluir que o aumento das notas técnicas na última avaliação não está relacionado a uma melhora real das condições de conservação das pontes, mas sim ao caráter subjetivo da metodologia de avaliação do DNIT, onde a avaliação pode variar conforme a interpretação de cada inspetor.

#### 4.4.4 Resultado das inspeções realizadas em 2017

As pontes foram vistoriadas no dia 07 de junho de 2017, seis anos e oito meses após a construção da ponte nova e cinco anos e dez meses após as intervenções de alargamento e reforço da ponte antiga. Foram realizadas inspeções visuais, seguindo os critérios estabelecidos pelas normas NBR 9452 (ABNT, 2016) e DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b) e pela metodologia GDE-UnB (VERLY, 2015), com o objetivo de avaliar o estado atual das duas pontes. Foram realizados também ensaios não destrutivos apenas para verificação do cobrimento das armaduras, por meio de um equipamento detector de metais da marca Bosh, modelo D-tect 150 Professional. As fichas de inspeção e os resultados dos ensaios de pacometria são apresentados nos apêndices D e F deste trabalho, respectivamente.

##### 4.4.4.1 Inspeção realizada na ponte reabilitada

São descritas a seguir as condições atuais de cada elemento constituinte da ponte reabilitada, assim como os principais danos ou anomalias identificados durante a inspeção.

###### A) Pista de Rolamento

Conforme já havia sido relatado em inspeções anteriores, há um estreitamento de pista na ponte, devido à existência de um passeio de pedestres no local onde, segundo o projeto, deveria haver a continuidade do acostamento. O pavimento apresentava apenas pequenas irregularidades nos acessos, além de um remendo sobre a junta de dilatação que corrigia um leve degrau provocado por um assentamento da pista de acesso. Esse assentamento também causou um desalinhamento vertical da barreira de segurança, o afundamento das alas e conseqüentemente da parte alargada da cortina onde estas são engastadas, provocando a ruptura do concreto com exposição de armadura no lado esquerdo da cortina. No lado direito, embora não tenha ocorrido o deslocamento vertical da cortina, a mesma também não resistiu ao peso da ala, provocando uma rachadura, desagregação do concreto e exposição de armadura. As cortinas apresentaram ainda pontos de infiltração de água, provavelmente associados a problemas no sistema de drenagem. Foram identificadas diversas manifestações patológicas nas barreiras de segurança e guarda-corpo, como fissuras, desagregação do concreto, deslocamentos, manchas e armaduras expostas e/ou oxidadas. Verificou-se a adoção de espessuras menores de cobrimento nas barreiras de segurança e no guarda-corpo

em desacordo com o projeto, o que pode justificar o surgimento precoce de danos relacionados à corrosão de armadura. As juntas de dilatação estavam obstruídas pelo revestimento asfáltico, impedindo a livre movimentação da superestrutura, propiciando o acúmulo de umidade e a deterioração do material de vedação. Verificou-se ainda, acúmulo de detritos na pista, próximo à junta de dilatação. A Figura 4.72 mostra as condições da pista de rolamento, incluindo estrutura de contenção, dispositivos de sinalização e segurança viária.



(a) Vista geral da ponte – sentido Belo Horizonte – Bom Despacho.



(b) Vista geral da ponte – sentido Bom Despacho - Belo Horizonte.



(c) Estreitamento de pista na ponte e remendo executado sobre a junta.



(d) Irregularidades no pavimento na pista de acesso à ponte.



(e) Desalinhamento vertical da barreira New Jersey, na saída da ponte.



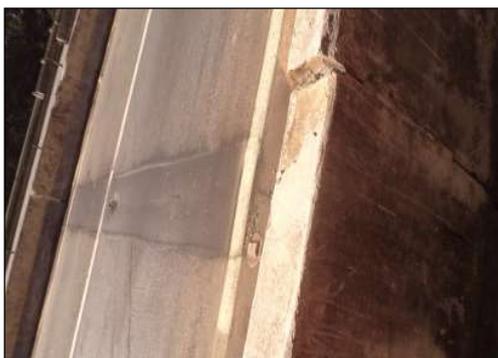
(f) Concreto desagregado e armadura exposta na barreira New Jersey



(g) Corrosão de armadura e deslocamento no guarda-corpo.



(h) Fissura de corrosão com 1,4 mm de abertura no guarda-corpo.



(i) Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico.



(j) Material de vedação da junta de dilatação deteriorado.



(k) Manchas de infiltração de água em uma cortina.



(l) Afundamento da parte alargada da cortina, no lado esquerdo.



(m) Rachadura, desagregação do concreto e armadura exposta no lado direito da cortina.



(n) Acúmulo de detritos na pista.

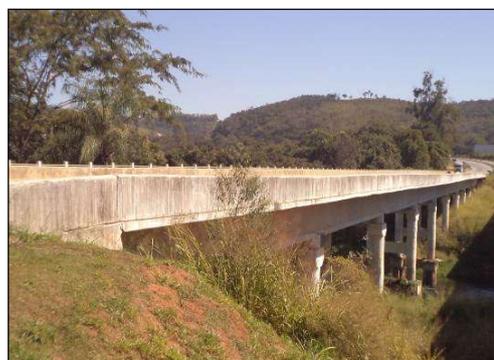
Figura 4.72 – Condições da pista de rolamento da ponte reabilitada sobre o Rio Pará.

## B) Superestrutura

O principal dano identificado na superestrutura refere-se à ruptura de parte da laje em balanço que não suportou o peso do conjunto formado pela cortina e pela ala, após o assentamento do aterro. Existiam ainda danos na face inferior da laje relacionados à falha nos drenos e pingadeiras que não estão desempenhando bem o seu papel, permitindo a percolação de água pela laje nos dois balanços laterais e também falhas de concretagem e manchas de infiltração em locais onde não ocorreram intervenções de recuperação ou de reforço. Foram verificadas falhas de concretagem pontuais nas longarinas, onde foi realizado o serviço de apicoamento na face inferior para receber nova camada de concreto, mas os locais onde se apoiam os pilares não foram recompostos, deixando exposta parte da armadura. Esse procedimento adotado está em desacordo com o projeto, que previa a execução do reforço em toda a face inferior da longarina. As medições realizadas com o pacômetro apresentaram espessuras de cobrimento insuficientes nas transversinas e na laje, inclusive na sua parte alargada. A Figura 4.73 mostra a situação em que se encontra a superestrutura desta ponte.



(a) Vista inferior do tabuleiro.



(b) Vista lateral da superestrutura no lado direito da ponte.



(c) Ruptura do concreto na extremidade da laje, devido ao deslocamento vertical da cortina alargada.



(d) No detalhe, flexão da laje na extremidade, com ruptura do concreto e exposição de armadura.



(e) Vista frontal da parte da cortina deslocada, causando a flexão da laje e a ruptura do concreto.



(f) Falha de concretagem no vão da laje, com armadura exposta.



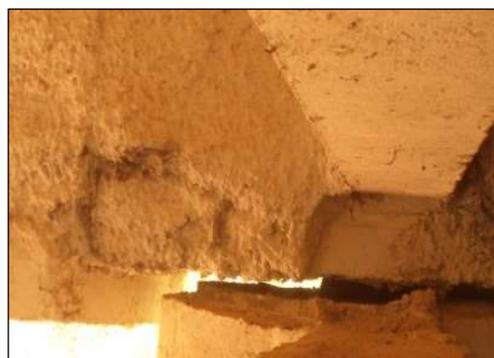
(g) Manchas de infiltração de água na face inferior da laje.



(h) Dreno danificado, permitindo a percolação de água pela laje.



(i) Idem foto anterior.



(j) Falha de concretagem, com armadura exposta em uma longarina.

Figura 4.73 – Situação da superestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Pará.

### C) Mesoestrutura

A mesoestrutura encontra-se em bom estado de conservação, tendo sido identificados apenas falhas de concretagem pontuais na execução do reforço dos pilares, mas que não causam

nenhum tipo de insuficiência estrutural. Além disso, havia sinais de infiltração na sexta linha de apoios, devido a falhas na vedação da junta de dilatação. A Figura 4.74 mostra os principais danos identificados nos elementos da mesoestrutura desta ponte.



(a) Sinais de infiltração nos pilares situados abaixo da junta de dilatação.



(b) Vista lateral do pilar afetado pela falha de vedação da junta de dilatação.



(c) Falha de concretagem em um pilar.



(d) Falha de execução do reforço de um pilar, com armadura exposta no topo.

Figura 4.74 – Situação da mesoestrutura da ponte reabilitada sobre o Rio Pará.

#### D) Infraestrutura

Os danos mais relevantes identificados nesta ponte estão relacionados a falhas no reforço da infraestrutura. Os blocos de reforço e parte das estacas raiz foram executados acima do nível da água, contrariando o projeto que previa a execução das estacas enterradas. Essa exposição das estacas traz prejuízos a sua durabilidade e ainda diminui a contribuição do atrito lateral para o ganho de capacidade de carga da fundação. Além disso, nas estacas visíveis foram identificadas falhas graves de execução que resultaram em perdas significantes de seção transversal de concreto no topo desses elementos, seja pela presença de ninhos de concretagem ou pela desagregação do concreto associada à má qualidade do material. As falhas nas ligações dos blocos de reforço com as estacas raiz impedem que os elementos de reforço absorvam as cargas adicionais e contribuam efetivamente para o aumento da

capacidade de carga da fundação como se esperava. Verifica-se que apenas os tubulões antigos estão suportando o acréscimo de carga da ponte. Não havia proteção vegetal nos taludes e estes já apresentavam pontos de erosão, que precisam ser corrigidos a fim de se evitar a ocorrência futura de algum tipo de instabilidade na fundação ou na contenção da pista. A Figura 4.75 mostra os principais danos identificados na infraestrutura desta ponte.



(a) Acúmulo de detritos nos blocos de reforço e partes expostas das estacas raiz nos apoios sobre o rio.



(b) Erosão e falta de proteção vegetal no talude.



(c) Concreto desagregado no topo das estacas raiz.



(d) Detalhe da ausência de concreto no topo de uma estaca raiz.



(e) Concreto desagregado no topo de uma estaca raiz.



(f) Falha de concretagem e concreto desagregado no topo de uma estaca raiz.

Figura 4.75 – Situação da infraestrutura da ponte rehabilitada sobre o Rio Pará.

São apresentados no Quadro 4.20, para cada metodologia de avaliação adotada, a nota técnica atribuída, sua respectiva classificação e as ações corretivas recomendadas.

Quadro 4.20 – Resultados da inspeção da ponte reabilitada sobre o Rio Pará.

<b>Metodologia</b>	<b>Nota Técnica</b>	<b>Classificação</b>	<b>Ação Corretiva</b>
DNIT	2	Condição sofrível – obra problemática.	A recuperação da obra deve ser feita no curto prazo.
GDE-UnB	85,69	Nível de deterioração sofrível.	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo em 6 meses).
ABNT (Estrutural)	2	Condição Ruim - Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural.	A OAE necessita de intervenções significativas em curto prazo.
ABNT (Funcional)	3	Condição Regular - A OAE apresenta desconforto ao usuário.	Os defeitos requerem ações de médio prazo.
ABNT (Durabilidade)	2	Condição Ruim - A OAE apresenta anomalias abundantes, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.	Os defeitos requerem ações de curto prazo.

#### 4.4.4.2 Inspeção realizada na ponte nova

São descritas a seguir as condições atuais de cada elemento constituinte da ponte nova, assim como os principais danos ou anomalias identificados durante a inspeção.

##### A) Pista de Rolamento

A ponte nova apresenta estreitamento de pista pelos mesmos motivos da ponte antiga. O pavimento estava em boas condições, existindo apenas algumas ondulações leves nos acessos da ponte. Observou-se ainda um assentamento do aterro nas pistas de acesso, resultando em um desalinhamento vertical da barreira de segurança. As barreiras de segurança e guarda-

corpo apresentavam diversas manifestações patológicas, como fissuras, armaduras expostas e/ou oxidadas, manchas e falhas de concretagem. Verificou-se a adoção de espessuras de cobrimento nas barreiras de segurança e no guarda-corpo em desacordo com o projeto, o que pode justificar o surgimento precoce de danos relacionados à corrosão de armadura. As juntas de dilatação situadas nas extremidades da ponte estavam completamente obstruídas pelo revestimento asfáltico. A junta situada no meio da ponte, embora estivesse desobstruída, também apresentava problemas de vedação devido à deterioração do seu material de preenchimento. Havia um buraco no piso da passarela, provocado pelo assentamento do aterro na saída da ponte, que resultou na ruptura do concreto nesse local. As cortinas apresentaram pontos de infiltração de água, provavelmente associados a falhas no sistema de drenagem. A Figura 4.76 mostra as condições da pista de rolamento, incluindo estrutura de contenção, dispositivos de sinalização e segurança viária.



(a) Vista geral da ponte – sentido Belo Horizonte – Bom Despacho. No detalhe, estreitamento de pista no acostamento.



(b) Vista geral – sentido Bom Despacho - Belo Horizonte. No detalhe, trilhas de roda e ondulações na saída da ponte.



(c) Desalinhamento vertical da barreira New Jersey.



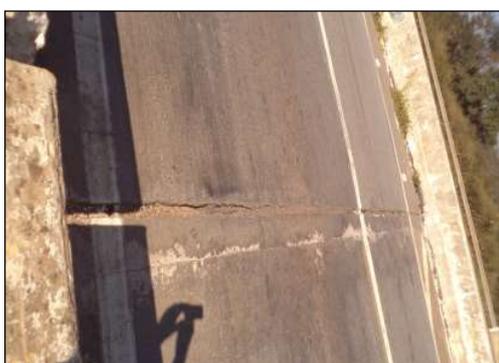
(d) Marcas de infiltração e manchas no concreto da Barreira New Jersey.



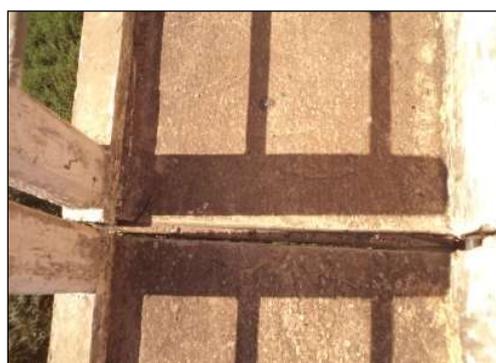
(e) Guarda-corpo danificado por colisão de veículo, com armadura exposta.



(f) Fissura com abertura de 0,4 mm no guarda-corpo, devido à corrosão de armadura.



(g) Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico.



(h) Junta de dilatação com material de vedação deteriorado na passarela.



(i) Buraco na saída da passarela, provocado pelo assentamento do aterro.



(j) Manchas de infiltração de água em uma cortina.



(k) Idem foto anterior.



(l) Infiltração de água em trinca horizontal na cortina.

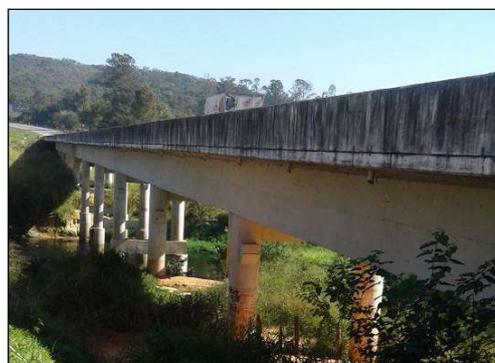
Figura 4.76 – Condições da pista de rolamento da ponte nova sobre o Rio Pará.

## B) Superestrutura

Os principais problemas patológicos identificados na superestrutura estavam relacionados ao sistema de drenagem, que em alguns pontos não se mostrou eficiente, permitindo a percolação de água pela face inferior da laje nos dois balanços laterais. Observou-se que alguns drenos possuíam comprimento insuficiente para afastar o fluxo de água da superestrutura e também havia infiltração ao redor dos drenos. Foram verificadas manchas de infiltrações pontuais nos vãos da laje, inclusive com sintomas de lixiviação. Além disso, problemas de vedação das juntas de dilatação causaram infiltrações que atingiram transversinas e vigas de contraventamento dos pilares. Existiam algumas armaduras expostas na face superior da laje, no piso da passarela. As vigas principais apresentaram fissuras em suas faces laterais, devido à flexão, mas com aberturas dentro do aceitável para classe de agressividade ambiental 1, de acordo a Tabela 13.4 da norma NBR 6118 (ABNT, 2014). Nos ensaios de pacometria, verificou-se cobertura insuficiente nas longarinas, nas transversinas e na face inferior da laje. A Figura 4.77 mostra a situação em que se encontra a superestrutura desta ponte.



(a) Vista inferior do tabuleiro.



(b) Vista lateral da superestrutura.



(c) Armadura exposta na face superior da laje na passarela.



(d) Falha no funcionamento da pingadeira.



(e) Falha no funcionamento de drenos e da pingadeira



(f) Manchas de infiltração devido à falha na vedação da junta de dilatação.



(g) Manchas de infiltração na face inferior da laje.



(h) Fissuras com abertura máxima de 0,3 mm nas faces laterais das longarinas.

Figura 4.77 – Situação da superestrutura da ponte nova sobre o Rio Pará.

### C) Mesoestrutura

Em geral os elementos da mesoestrutura encontravam-se em boas condições de conservação. Foram identificados apenas sinais de infiltração na viga de contraventamento que liga os pilares situados abaixo da junta de dilatação, devido à falha na vedação. Além disso, os aparelhos de apoios estavam obstruídos por isopor e em alguns casos, por restos de argamassa, prejudicando o seu perfeito funcionamento, além de impedir a sua verificação durante atividades de inspeção. Nos ensaios de pacometria, verificou-se que a maior parte dos pilares possui espessura de cobrimento de armadura inferior ao previsto no projeto. Também não foram atendidas as espessuras mínimas de cobrimento para as vigas de contraventamento dos pilares. A Figura 4.78 mostra a situação em que se encontra a superestrutura desta ponte.



(a) Vista geral da mesoestrutura.



(b) Manchas de infiltração na viga de contraventamento dos pilares situados abaixo da junta de dilatação.



(c) Aparelho de apoio obstruído por isopor, que impede a sua inspeção.



(d) Presença de argamassa ao redor do aparelho de apoio.

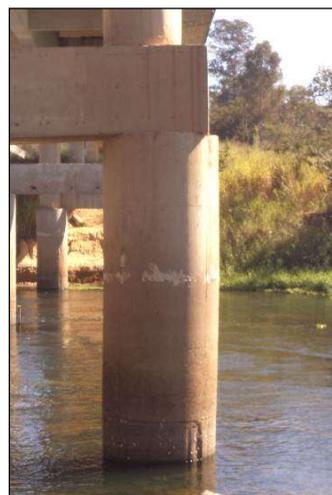
Figura 4.78 – Situação da mesoestrutura da ponte nova sobre o Rio Pará.

#### D) Infraestrutura

Apesar de não estar visível em sua maior parte, supõe-se que a infraestrutura se encontra em bom estado de conservação, pois não havia nenhum sinal de recalque ou deslocamento de fundação em toda a ponte. Foram identificadas apenas algumas falhas de concretagem nos tubulões, que resultaram em um leve desalinhamento entre o tubulão e o pilar, mas, a princípio, sem causar danos à estabilidade da ponte. Observou-se também a ausência de proteção vegetal nos taludes e algumas pequenas erosões, que precisam ser corrigidas a fim de se evitar a ocorrência futura de algum tipo de instabilidade na fundação ou na contenção da pista. Além da falta de proteção vegetal, as erosões foram provocadas pelo mau posicionamento de alguns drenos, que direcionam a água pluvial para a saia do aterro. A Figura 4.79 mostra os danos identificados na infraestrutura desta ponte.



(a) Desvio de geometria no tubulão sob o pilar P11.



(b) Desvio de geometria no tubulão sob o pilar P8.



(c) Erosão no talude provocado pelo lançamento do dreno no aterro.



(d) Idem foto anterior.

Figura 4.79 – Situação da infraestrutura da ponte nova sobre o Rio Pará.

São apresentados no Quadro 4.21, para cada metodologia de avaliação adotada, a nota técnica atribuída, sua respectiva classificação e as ações corretivas recomendadas.

Quadro 4.21 – Resultados da inspeção da ponte nova sobre o Rio Pará.

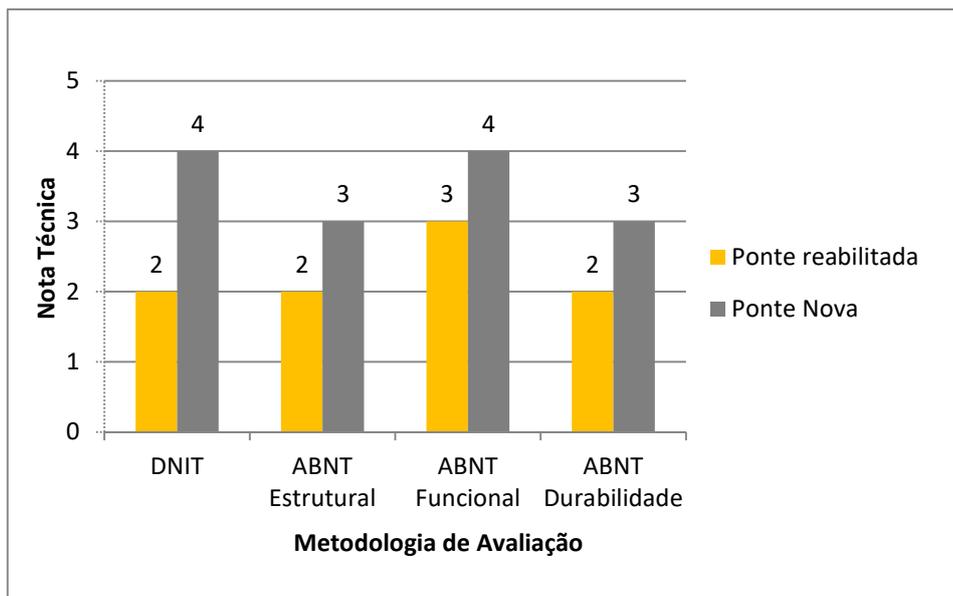
Metodologia	Nota Técnica	Classificação	Ação Corretiva
DNIT	4	Condição Boa – Obra sem problemas importantes.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
GDE-UnB	23,65	Nível de deterioração médio.	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).

ABNT (Estrutural)	3	Condição Regular - Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.
ABNT (Funcional)	4	Condição Boa - A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
ABNT (Durabilidade)	3	Condição Regular - A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.	Os defeitos requerem ações de médio prazo.

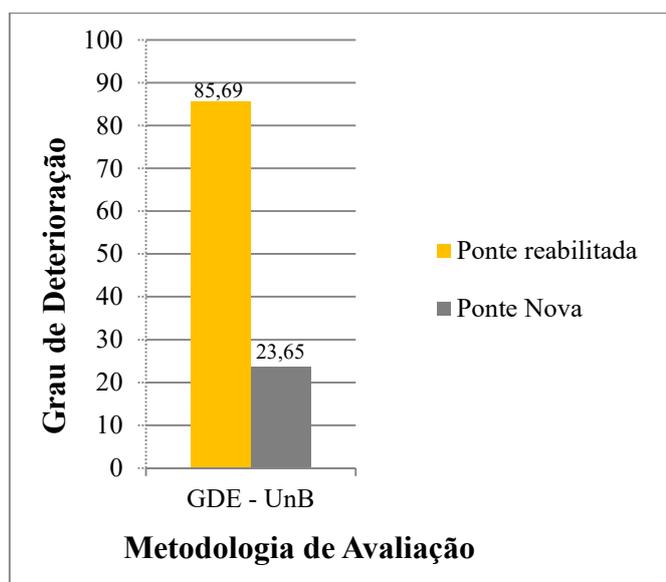
#### 4.4.5 Comparação entre as pontes sobre o Rio Pará

De maneira geral, a ponte nova apresentou um desempenho satisfatório, não existindo nenhum dano significativo que possa afetar a sua integridade estrutural ou a sua funcionalidade. Já a ponte reabilitada apresentou um desempenho ruim, com diversos danos ou anomalias que comprometem principalmente a sua durabilidade, além de falhas identificadas no reforço da infraestrutura, que podem afetar a segurança estrutural da ponte. A Figura 4.80 demonstra, através de gráficos, as notas técnicas atribuídas a cada ponte, segundo diferentes metodologias de avaliação.

Neste estudo de caso, observa-se uma convergência dos resultados em todas as comparações. Foram obtidos resultados coerentes entre si e fieis à realidade, independentemente da metodologia de avaliação utilizada. De acordo com as notas técnicas atribuídas, a ponte reabilitada apresentou um desempenho muito inferior ao da ponte nova.



(a) Avaliação segundo metodologias DNIT e ABNT



(b) Avaliação segundo metodologia GDE-UnB

Figura 4.80 – Notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Rio Pará.

De acordo com a metodologia do DNIT, para a ponte nova, recomenda-se apenas a realização de serviços de manutenção. Já a ponte reabilitada, foi classificada como obra problemática, sendo recomendada sua recuperação em curto prazo. As anomalias que mais influenciaram a nota técnica da ponte reabilitada foram aquelas relacionadas às estacas raiz, que comprometeram a eficiência do reforço empregado na infraestrutura, além de falhas no procedimento de alargamento, que causaram danos na cortina e na laje próximo ao encontro.

As notas técnicas da ponte rehabilitada, segundo os parâmetros estrutural e de durabilidade da ABNT, também foram influenciadas negativamente pela existência dessas falhas nas intervenções de alargamento e reforço. Além disso, as péssimas condições das barreiras de segurança da ponte rehabilitada prejudicaram sua nota técnica segundo o parâmetro funcional. A ponte nova teve sua avaliação influenciada pela existência de fissuras nas vigas principais e erosões localizadas nos taludes dos encontros, segundo os parâmetros estrutural e de durabilidade, respectivamente. De acordo com as classificações obtidas por esta metodologia, foram recomendadas ações em curto prazo para a correção das anomalias que causam insuficiência estrutural e afetam a durabilidade da ponte rehabilitada e ações de médio prazo para correção dos problemas nos dispositivos de segurança que afetam a sua funcionalidade. Para a ponte nova, recomendam-se ações no médio prazo para a correção das erosões no talude e monitoramento das fissuras nas vigas principais, podendo ser necessário também intervenções em médio prazo.

As notas atribuídas pelo critério de avaliação da metodologia GDE-UnB retratam bem a situação das duas pontes e foram influenciadas pelos mesmos danos que afetaram as notas técnicas das outras metodologias. Foram recomendadas intervenções em longo prazo para a ponte nova e em curto prazo para a ponte rehabilitada. Ao considerar apenas os graus de deterioração das pontes, alguns problemas como “junta de dilatação” ou “barreiras de segurança” não impactaram suficientemente a sua avaliação global. Se fossem considerar apenas as notas técnicas desses elementos em separado, estas recomendariam intervenções em médio prazo, a exemplo do que foi recomendado pela metodologia ABNT segundo os parâmetros estrutural e de durabilidade. Portanto, ao adotar a metodologia GDE-UnB, é importante analisar as notas técnicas de cada elemento, sob risco de ignorar algum defeito que seja pontual e ao mesmo tempo necessite intervenções em menor prazo.

Os principais danos identificados na ponte rehabilitada estão localizados nos elementos de reforço da infraestrutura, na pista de acesso à ponte (com consequências nas alas, cortina e laje) e na face inferior da laje. Destes problemas citados, nenhum está relacionado ao ressurgimento de problemas patológicos em elementos estruturais recuperados, mas a falhas na execução das intervenções de alargamento e reforço ou à ausência de previsão de recuperação dos elementos estruturais que não receberam reforço.

As intervenções de alargamento da ponte não foram satisfatórias devido às falhas identificadas no aterro da pista de acesso, alas, cortina e laje, em decorrência desse alargamento. Embora a ponte não tenha apresentado sinais de insuficiência estrutural, o reforço também não pode ser considerado bem-sucedido, tendo em vista a constatação na inspeção de problemas ocorridos na interface das estacas raiz com os blocos de reforço, elementos instalados para cumprir a função de reforço da estrutura existente.

Portanto, considerando as falhas identificadas nas intervenções de alargamento e reforço e a pouca abrangência do projeto de recuperação, pode-se concluir que a reabilitação da ponte neste caso não foi eficaz. Além de garantir a readequação geométrica e estrutural ponte, a reabilitação deveria ter proporcionado um aumento da vida útil de todos os elementos constituintes da ponte.

A exemplo das pontes sobre o Rio Paraopeba, existem anomalias comuns às duas pontes (estreitamento de pista, sistema de drenagem ineficiente, deterioração precoce do concreto nas barreiras de segurança e guarda-corpo e obstrução das juntas de dilatação com o revestimento asfáltico). Neste caso, verificou-se também a adoção de espessuras menores de cobertura nas barreiras de segurança e guarda-corpo em descordo com o projeto, o que pode justificar a sua deterioração precoce.

Analisando os dados obtidos durante as inspeções e considerando o nível de deterioração de cada ponte, verifica-se que a ponte reabilitada teve um desempenho muito inferior à ponte nova que foi construída ao lado. Porém, as principais anomalias identificadas referem-se a falhas construtivas, que poderiam ter sido evitadas com um controle de qualidade mais rigoroso durante a execução das obras. Portanto, apesar do resultado ruim apresentado pela ponte reabilitada em comparação com a nova, não se pode concluir pela inviabilidade do aproveitamento da estrutura antiga.

#### **4.5 Pontes sobre o Ribeirão dos Paivas**

As pontes sobre o Ribeirão dos Paivas estão localizadas na rodovia BR-262, km 402+800 m, no município de Pará de Minas, em Minas Gerais. Tem como subtrecho o entroncamento com a MG-431 até o entroncamento com a MG-430 (p/ Igaratinga), sob o código 262BMG0710 no



#### 4.5.1 Ponte Reabilitada

##### 4.5.1.1 Descrição da ponte original

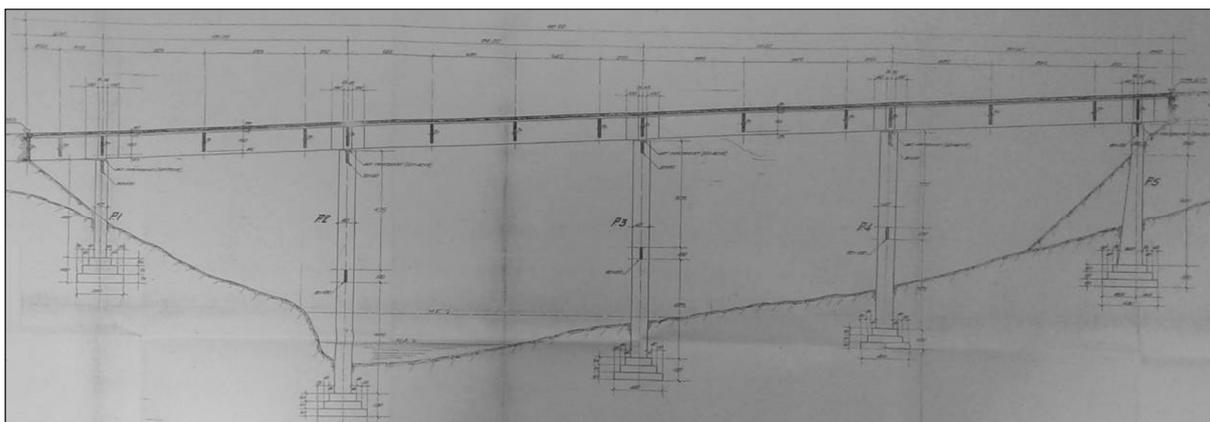
A ponte original, Classe 36 toneladas, foi projetada em 1967 pela Empresa de Pavimentação e Engenharia Ltda – EMPEL, contratada pelo extinto DNER. Foi dimensionada de acordo com as normas vigentes à época (NB-1/1960, NB-2/1960 e NB-6/1960), conforme histórico de evolução apresentado no Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004a). As principais características dessa ponte estão descritas no Quadro 4.22.

Quadro 4.22– Principais características do projeto original da ponte sobre o Ribeirão dos Paivas.

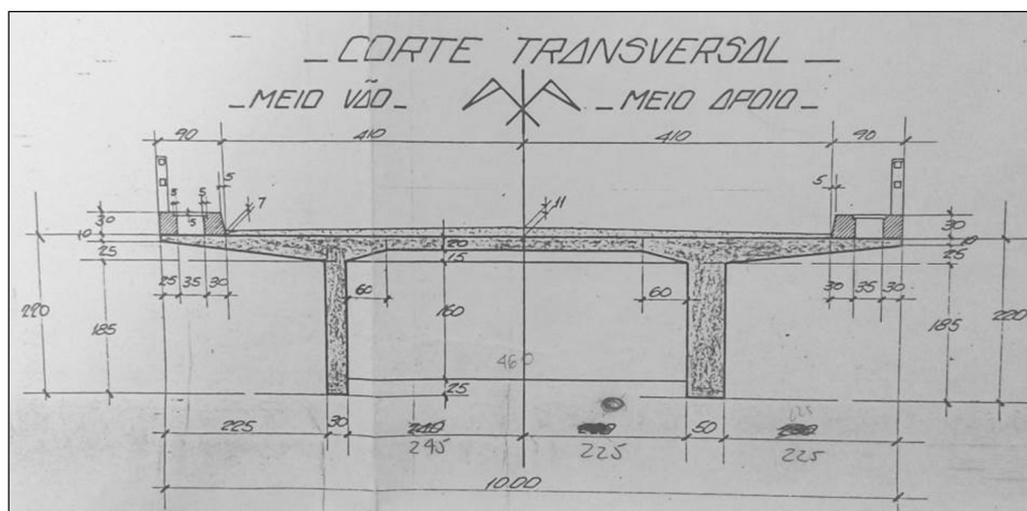
<b>Materiais</b>	
<p>Todos os elementos em concreto armado.</p> <p>Aparelhos de apoio fixos do tipo Freyssinet.</p> <p>Revestimento asfáltico da pista com 11 cm de espessura.</p> <p>Sem especificação do sistema de drenagem e das juntas de dilatação.</p>	
<b>Região</b>	
Obra situada em região ondulada.	
<b>Dados Geométricos</b>	
Ponte esconsa em relação ao ribeirão e tangente à rodovia.	
Comprimento Total	92,50 metros, com quatro vãos (20,0 m + 24,0 m + 20,0 m + 20,0 m), além de dois balanços de 6,0 e 2,50 m nas extremidades.
Largura total	10,00 m (pista de 8,20 m, com duas faixas de rolamento)
Acostamento	Não possui.
Guarda-rodas	Dois guarda-rodas com seção transversal de 90 x 30 cm.
Guarda-corpo	Em concreto vazado, de 15 x 75 cm sobre os guarda-rodas.
Laje	Maciça, com espessura de 20 cm no meio do vão.
Longarinas	Dois longarinas, com seção transversal variável de 30 a 50 x 220 cm.
Transversinas	Quinze transversinas, com seção transversal de 20 x 160 cm.
Pilares	Cinco pares de pilares com seção quadrada cujos lados variam de 100 a 200 cm nos apoios extremos e medem 140 cm nos demais apoios. Os pilares são

	unidos por vigas de contraventamento no topo e também ao meio nos apoios intermediários.
Fundação	Superficial, composta por 10 blocos retangulares com faces verticais escalonadas, nas seguintes dimensões: 200 x 380 x 200 cm (P1), 220 x 400 x 180 cm (P2), 210 x 400 x 180 cm (P3 e P4) e 250 x 430 x 180 cm no P5.
Laje de transição	Não possui.
Encontros	Não possui (Contenção do aterro através de cortinas).
Cortina	Seção transversal de 20 x 220 cm.

A Figura 4.83 mostra a vista longitudinal e o corte transversal com as características geométricas da concepção da ponte original.



(a) Vista longitudinal da ponte.



(b) Seção transversal da ponte no meio do vão e sobre o apoio.

Figura 4.83 – Características geométricas da ponte original sobre o Ribeirão dos Paivas (Projeto DNER, 1967).

#### 4.5.1.2 Situação da ponte antes das intervenções de reabilitação

Devido aos mesmos motivos já expostos no caso da ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme, neste caso também não foram identificadas inspeções que tenham sido realizadas antes das intervenções, o que impossibilitou o conhecimento do estado de conservação da ponte antiga antes da reabilitação. Seu projeto de recuperação também não apresenta de forma clara o diagnóstico dos problemas patológicos que possivelmente existiam antes das intervenções, indicando apenas soluções padrão para serem executadas onde fosse necessário, sem detalhar o tipo, a localização, a extensão e a intensidade de cada dano.

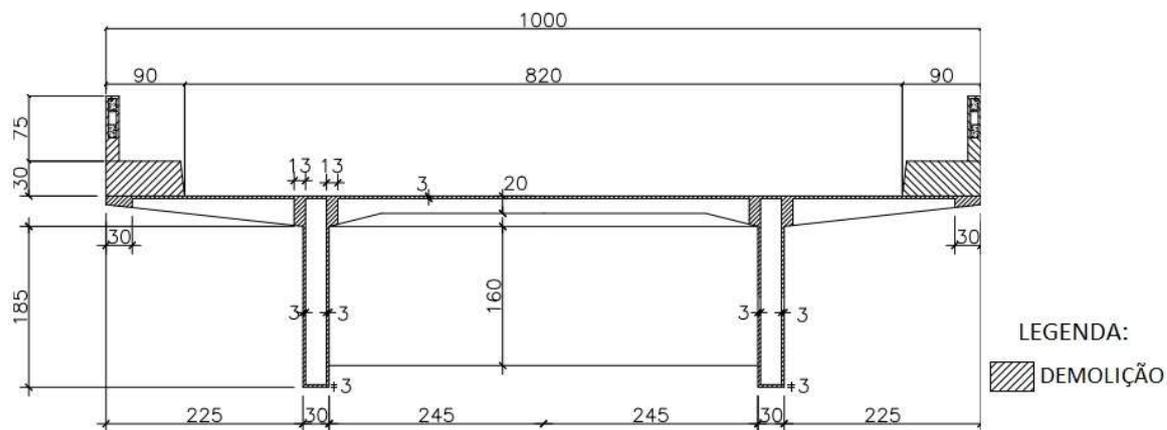
#### 4.5.1.3 Procedimentos de alargamento e reforço estrutural

O projeto de alargamento e reforço foi elaborado pela empresa Ecoplan Engenharia, em outubro de 2006 e os serviços foram executados pelo Consórcio Egesa-Conserva-Ápia, no período de agosto de 2010 a julho de 2011, ambos contratados pelo DNIT.

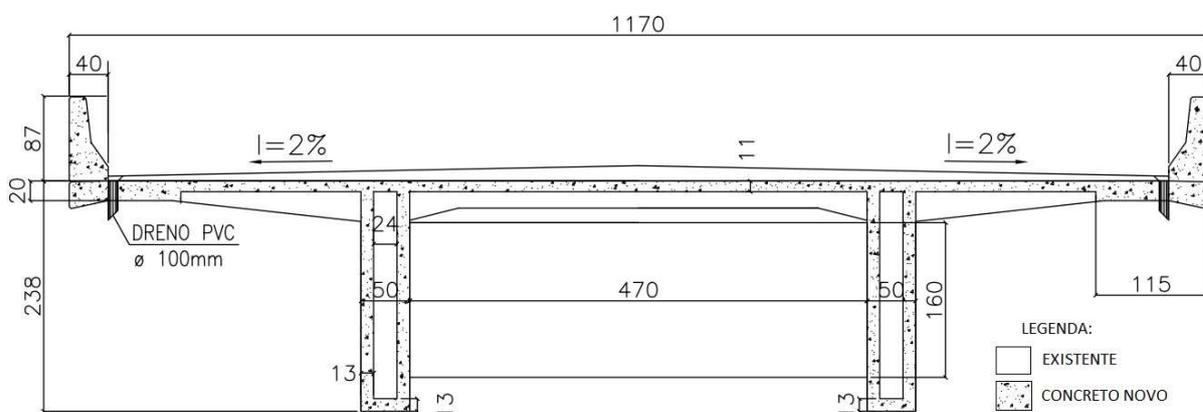
As intervenções de reabilitação da ponte tiveram por objetivo atender às novas exigências da rodovia BR-262 que passava por obras de duplicação. O projeto previa o alargamento da ponte, aumentando sua largura total de 10,0 para 11,70 metros, que correspondia à largura de cada pista após a duplicação (duas faixas de rolamento e acostamento). Foi previsto também o reforço estrutural da ponte visando readequá-la para o trem-tipo TB-45 (450 kN), a substituição dos aparelhos de apoio, do pavimento e das juntas de dilatação, o alargamento das cortinas e a troca dos guarda-rodas e guarda-corpos por barreiras de segurança do tipo New Jersey, além de intervenções de recuperação da estrutura existente.

##### A) Alargamento e reforço da superestrutura

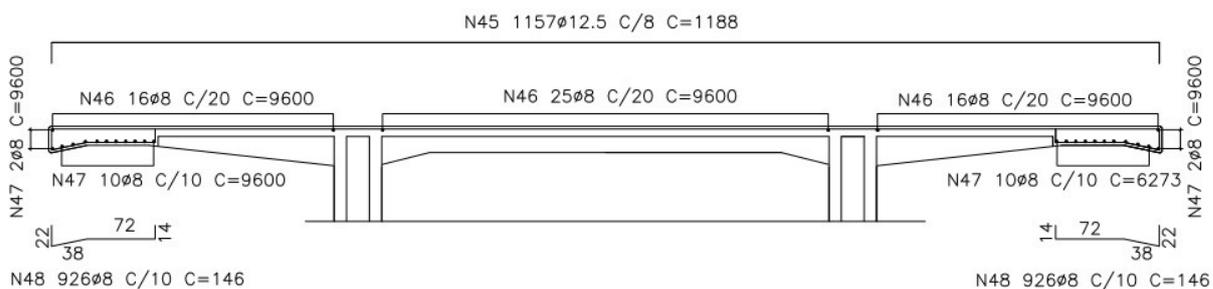
O método de alargamento adotado consistiu no aumento da largura da laje existente, sem a adição de novos apoios e de novas vigas ao tabuleiro, utilizando-se apenas concreto armado convencional. O reforço da superestrutura baseou-se no aumento da seção transversal dos elementos estruturais com acréscimo de armaduras (engrossamento das longarinas e adição de sobrelaje). Detalhes do projeto de alargamento e reforço da superestrutura são apresentados na Figura 4.84.



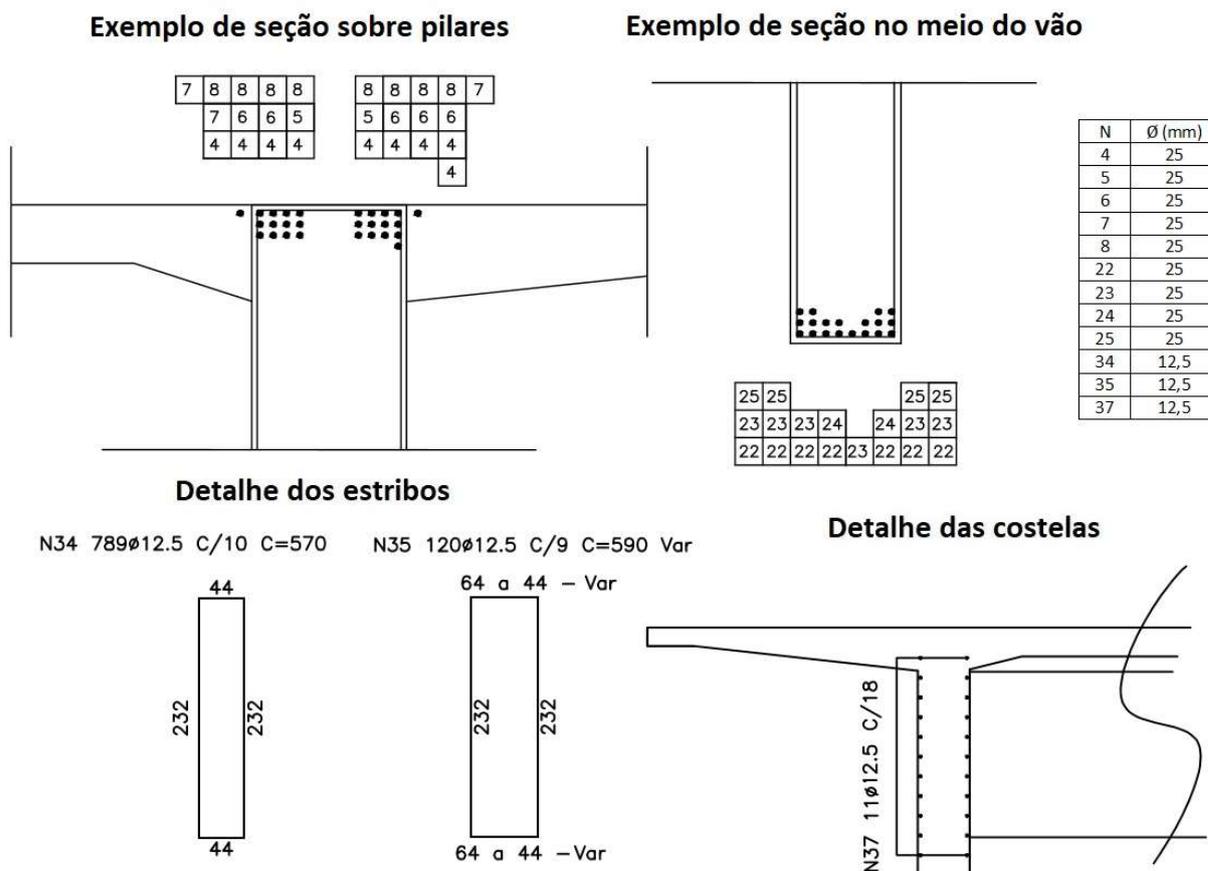
(a) Projeto de demolição.



(b) Projeto de forma e concretagem.



(c) Detalhes das armaduras do alargamento da laje e da sobrelaje.



(d) Detalhes das armaduras do reforço da longarina.

Figura 4.84 – Detalhes do projeto de alargamento e reforço da superestrutura da ponte sobre o Ribeirão dos Paivas (DNIT, 2006).

O projeto previa inicialmente a demolição dos guarda-corpos, dos guarda-rodas e de 30 cm nas extremidades das lajes em balanço nas laterais da ponte, além do apicoamento de 3 cm na superfície superior da laje e nas faces das duas longarinas, com objetivo de preparar a superfície, mantendo-a com aspereza suficiente para possibilitar a aderência do novo material do reforço. Em seguida, foi executada a concretagem de uma sobrelaje com espessura de 11 cm, juntamente com a nova laje cuja largura era de 1,15 m em cada lado da ponte (30 cm demolido + 85 cm do alargamento), as novas barreiras New Jersey e o reforço de 13 cm nas faces das longarinas. A resistência característica à compressão do concreto utilizado neste reforço era de 20 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. Foram instalados drenos de PVC com diâmetro de 100 mm nos dois lados da ponte.

A Figura 4.85 apresenta algumas fotos que ilustram execução do alargamento e reforço da laje.



(a) Escoramento da ponte e demolição (30 cm nas extremidades da laje e dispositivos de segurança).



(b) Alargamento e reforço da laje concluídos, além da troca dos antigos guarda-rodas e guarda-corpos pelas barreiras New Jersey.

Figura 4.85 – Execução do alargamento e reforço da laje da ponte sobre o Ribeirão dos Paivas.

#### B) Reforço da mesoestrutura

O reforço dos pilares foi realizado com aumento da seção transversal. O procedimento previa o apicoamento da superfície de concreto, colocação de armadura adicional e concretagem da camada de reforço com 13 cm de espessura em cada face, cuja resistência característica à compressão era de 20 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. Foram implantados consoles nos topos dos pilares com objetivo de apoiar os macacos hidráulicos que foram utilizados para a substituição dos aparelhos de apoio. Os novos aparelhos de apoio instalados são móveis do tipo neoprene fretado, com espessura de 39 mm e dimensões de 35 x 45 cm nos apoios extremos e de 45 x 60 cm nos demais. A Figura 4.86 mostra detalhes do projeto de reforço dos pilares.

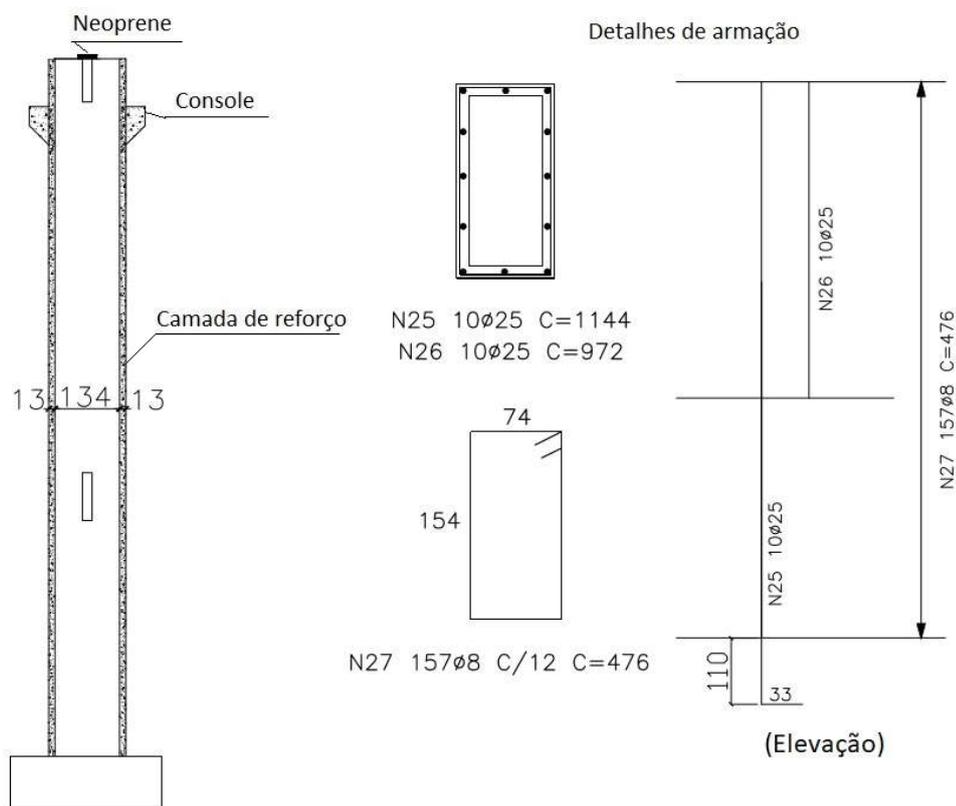
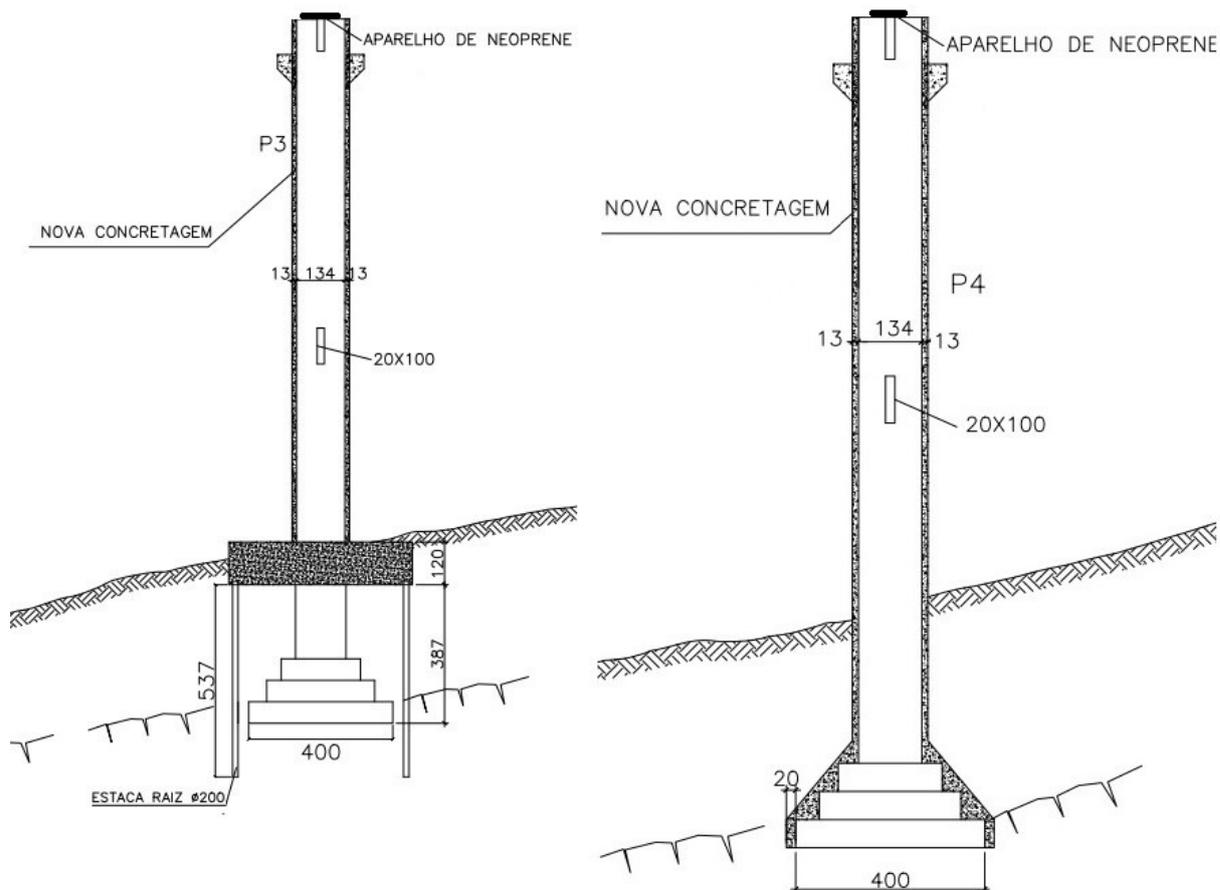


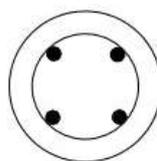
Figura 4.86 – Detalhes do reforço dos pilares da ponte sobre o Ribeirão dos Paivas (DNIT, 2006).

### C) Reforço da infraestrutura

Foram implantados quatro blocos com função estrutural de reforço da infraestrutura nas segunda e terceira linhas de apoios, onde os blocos envolvem as bases dos pilares existentes e apoiam-se em quatro estacas do tipo raiz com diâmetro de 200 mm. Os demais apoios foram reforçados com o aumento da seção transversal dos blocos. A resistência característica à compressão do concreto utilizado neste reforço era de 20 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. A Figura 4.87 mostra detalhes do reforço executado na infraestrutura.

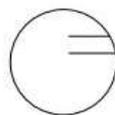


(a) Detalhes do reforço executado em dois apoios e suas respectivas fundações. À esquerda, a solução de reforço adotada nas segunda e terceira linhas de apoio; à direita, a solução para os demais apoios.



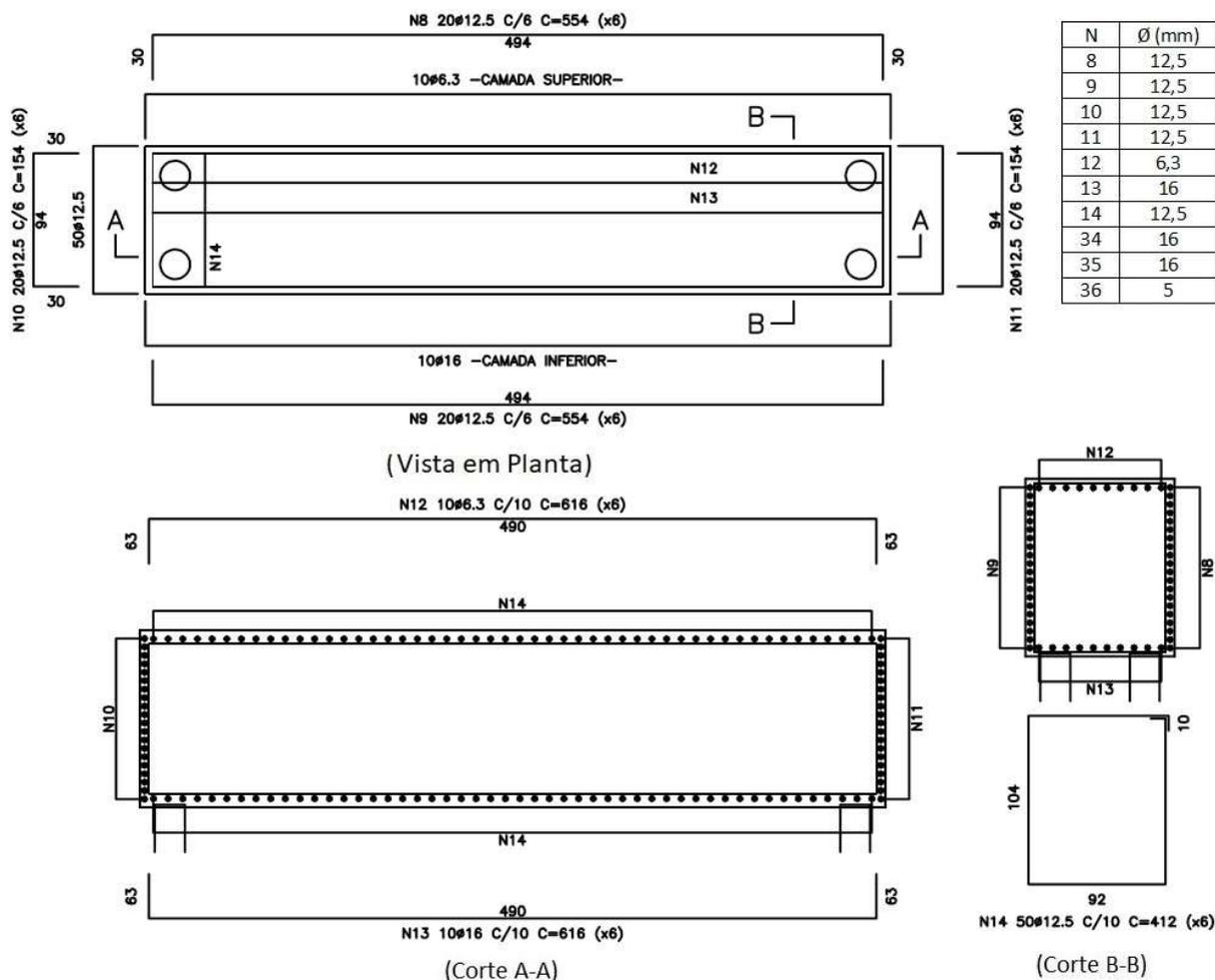
N34  $4\phi 16$   $C=758$  (x8) – P2–P6

N35  $4\phi 16$   $C=547$  (x8) – P3–P7



N36  $940\phi 5$   $C/12$   $C=63$  (x4)

(b) Detalhes das armaduras das estacas raiz.



(c) Detalhes das armaduras dos blocos de reforço com dimensões de 500 x 100 x 120 cm.

Figura 4.87 – Detalhes do reforço da infraestrutura da ponte sobre o Ribeirão dos Paivas (DNIT, 2006).

#### D) Procedimentos de recuperação da estrutura existente

Além das intervenções de alargamento e reforço estrutural, o projeto de reabilitação previu dois procedimentos para recuperação da estrutura existente: recuperação de fissuras na face inferior das lajes e recuperação das transversinas e cortinas. Esses procedimentos foram previstos para elementos que não foram reforçados e somente onde fosse necessário, seguindo a mesma sequência executiva recomendada para a ponte sobre o Rio Paraopeba.

A Figura 4.88 mostra a execução de alguns serviços de recuperação, tais como a troca das juntas de dilatação e implantação de novo guarda-corpo na ponte.



(a) Troca das juntas de dilatação.



(b) Implantação de novo guarda-corpo.

Figura 4.88 – Execução dos serviços de recuperação da ponte sobre o Ribeirão dos Paivas.

#### 4.5.2 Ponte Nova

##### 4.5.2.1 Descrição da ponte nova

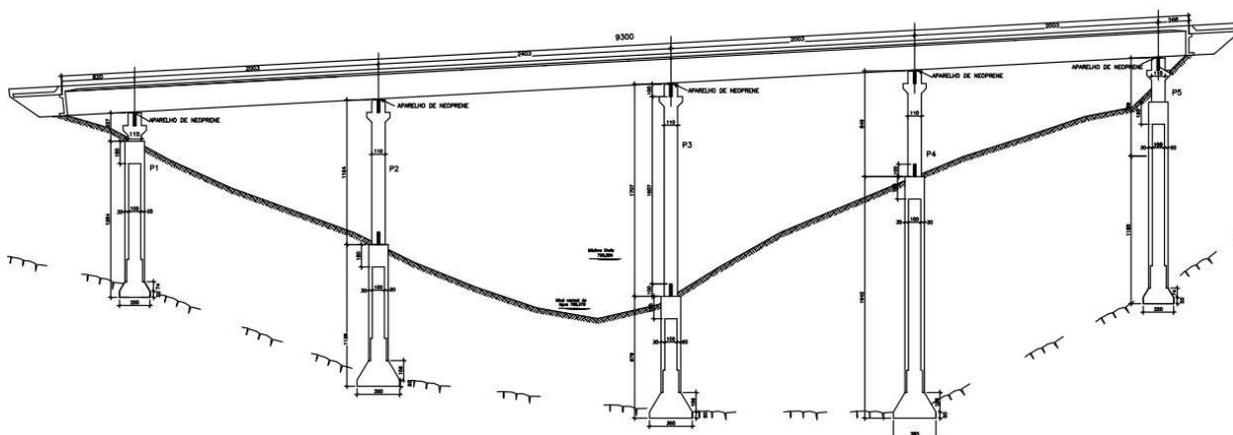
A ponte nova, Classe 45 toneladas, foi projetada em 2006 pela empresa Ecoplan Engenharia, contratada pelo DNIT para a elaboração dos projetos de duplicação da rodovia BR-262 entre os municípios de Betim e Nova Serrana. A obra também foi executada pelo Consórcio Egesa-Conserva-Ápia, no período de agosto de 2009 a setembro de 2010, servindo como desvio de tráfego durante as obras de reabilitação da ponte existente e a partir de julho de 2011, passou a integrar a rodovia duplicada. As principais características dessa ponte estão descritas no Quadro 4.23.

Quadro 4.23 – Principais características do projeto da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.

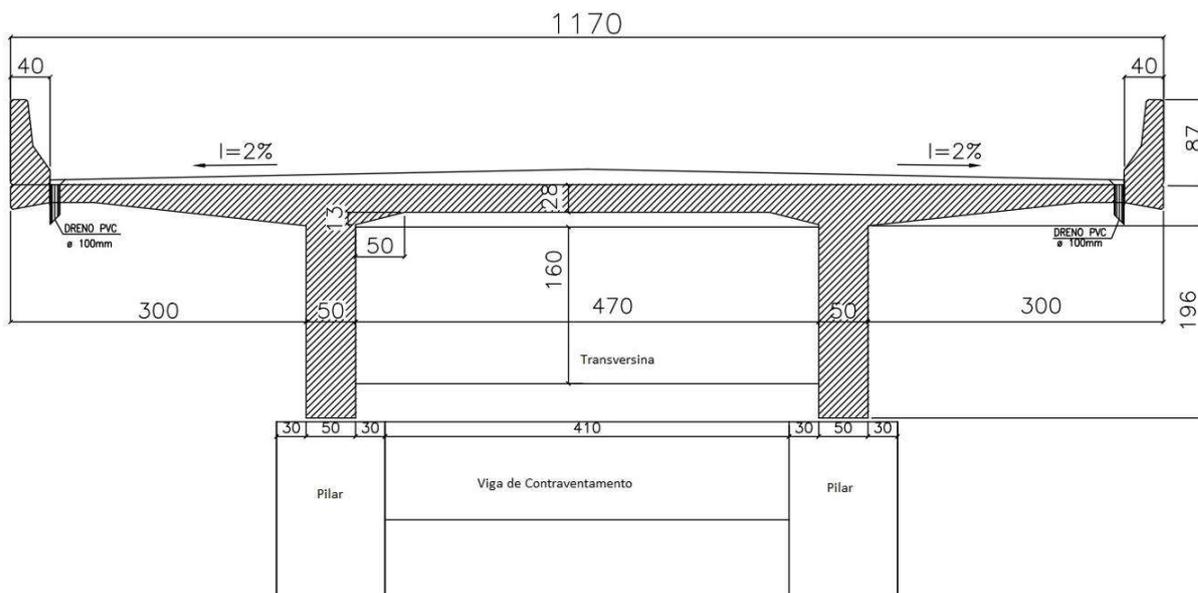
<b>Materiais</b>
<p>Todos os elementos em concreto armado.</p> <p>10 aparelhos de apoio móveis do tipo neoprene fretado com espessura de 3,9 cm e dimensões de 35 x 45 cm (apoios extremos) e 45 x 60 cm (apoios intermediários).</p> <p>Juntas de dilatação do tipo Jeene – JJ 2540 W ou similar nos encontros.</p> <p>Revestimento asfáltico da pista com 16 cm de espessura no meio da seção.</p> <p>Drenos de PVC com diâmetro de 100 mm nos dois lados da ponte.</p>
<b>Região</b>
<p>Obra situada em região ondulada.</p>

<b>Dados Geométricos</b>	
Ponte esconsa em relação ao ribeirão e tangente à rodovia.	
Comprimento Total	93,0 metros, com quatro vãos (20,03 m + 24,03 m + 20,03 m + 20,03 m), além de dois balanços de 6,20 e 2,68 m nas extremidades.
Largura total	11,70 m com duas faixas de rolamento e acostamento.
Acostamento	Sim
Guarda-rodas	Barreiras de segurança do tipo New Jersey.
Guarda-corpo	Não possui.
Laje	Maciça, com espessura de 28 cm no meio do vão.
Longarinas	Duas longarinas, com seção transversal variável de 50 a 70 x 238 cm.
Transversinas	Quinze transversinas, com seção transversal de 20 x 160 cm.
Pilares	Cinco pares de pilares com seção circular, diâmetro de 110 cm. Os pilares são unidos por vigas de contraventamento no topo e também na base nos apoios intermediários.
Fundação	Profunda, composta por dez tubulões com diâmetro de 160 cm no fuste e bases com diâmetro de 250 cm nos apoios extremos e 350 cm nos demais.
Laje de transição	Seção transversal de 400 cm x 25 cm.
Encontros	Não possui (Contenção do aterro através de cortinas).
Cortina	Seção transversal de 25 x 238 cm.

A Figura 4.89 mostra detalhes de projeto, com as principais características geométricas da ponte.



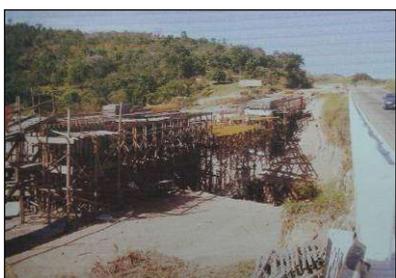
(a) Vista longitudinal da ponte nova.



(b) Seção transversal da ponte nova.

Figura 4.89 – Detalhes de projeto da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas (DNIT, 2006).

A Figura 4.90 apresenta algumas fotos da execução da ponte nova.



(a) Escoramento para execução da superestrutura.



(b) Armadura da laje.



(c) Execução do pavimento sobre a ponte.

Figura 4.90 – Execução da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.

#### 4.5.3 Inspeções anteriores

Após a conclusão das obras de duplicação da rodovia, as primeiras inspeções foram realizadas pela concessionária Triunfo-Concebra, responsável pela concessão deste segmento da rodovia BR-262 a partir de março de 2014. Foi realizada uma inspeção cadastral em 11 de abril de 2014 e inspeções rotineiras são realizadas anualmente. Os principais danos identificados nas inspeções já realizadas são apresentados no Quadro 4.24.

Quadro 4.24 – Principais danos identificados nas inspeções já realizadas.

Ponte	Ano	Danos Identificados
Reabilitada	2014	Diminuição da seção transversal da via, devido à criação de um passeio para pedestres no local onde seria o acostamento, separado da pista por uma barreira New Jersey, causando risco de colisão frontal; Vegetação sem manutenção; Falta de defesa metálica.
Reabilitada	2015	Falta de proteção vegetal dos taludes.
Reabilitada	2016	Falta de proteção vegetal dos taludes.
Nova	2014	Estreitamento de pista devido aos mesmos motivos citados para a ponte reabilitada; Defesa metálica danificada.
Nova	2015	Falta de proteção vegetal dos taludes.
Nova	2016	Falta de proteção vegetal dos taludes.

A concessionária adota a metodologia do DNIT para a avaliação das pontes sob sua responsabilidade. Para cada ponte inspecionada, são atribuídas notas técnicas de acordo com os critérios estabelecidos pela norma DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b). A Figura 4.91 demonstra, através de um gráfico, a evolução das notas técnicas atribuídas às duas pontes nas inspeções realizadas no período de 2014 a 2016.

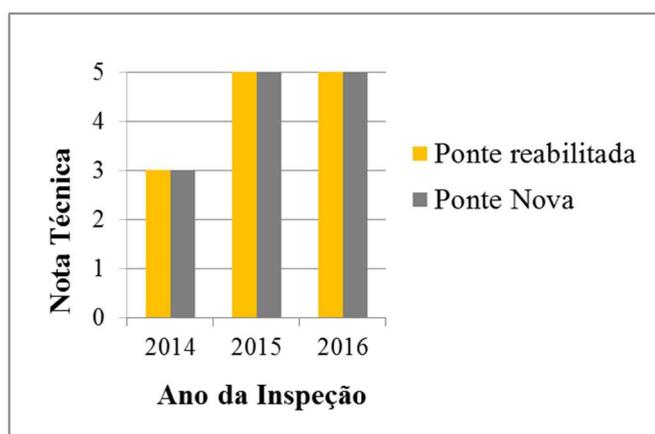


Figura 4.91 – Evolução das notas técnicas atribuídas às pontes sobre o Ribeirão dos Paivas, de acordo com a norma DNIT 010/2004.

Verifica-se no gráfico que as duas pontes sempre tiveram desempenhos semelhantes, sendo que suas notas técnicas foram igualmente aumentadas no segundo ano de avaliação e nas duas últimas avaliações ambas tiveram suas notas mantidas. Ao comparar os dados dos relatórios de inspeção, verifica-se que não constam informações relativas a intervenções que tenham sido realizadas pela concessionária após o segundo ano de avaliação que pudessem justificar a elevação das suas notas técnicas. Assim, pode-se concluir que o aumento das notas técnicas

nas duas últimas avaliações em relação à primeira não está relacionado a uma melhora real das condições de conservação das pontes, mas sim ao caráter subjetivo da metodologia de avaliação do DNIT, onde a avaliação pode variar conforme a interpretação de cada inspetor.

#### 4.5.4 Resultado das inspeções realizadas em 2017

As pontes foram vistoriadas no dia 23 de maio de 2017, seis anos e oito meses após a construção da ponte nova e cinco anos e dez meses após as intervenções de alargamento e reforço da antiga. Foram realizadas inspeções visuais, seguindo os critérios estabelecidos pelas normas NBR 9452 (ABNT, 2016) e DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b) e pela metodologia GDE-UnB (VERLY, 2015), com o objetivo de avaliar o estado atual das duas pontes. Foram realizados também ensaios não destrutivos apenas para verificação do cobrimento das armaduras, por meio de um equipamento detector de metais da marca Bosh, modelo D-tect 150 Professional. As fichas de inspeção e os resultados dos ensaios de pacometria são apresentados nos apêndices E e F deste trabalho, respectivamente.

##### 4.5.4.1 Inspeção realizada na ponte reabilitada

São descritas a seguir as condições atuais de cada elemento constituinte da ponte reabilitada, assim como os principais danos ou anomalias identificados durante a inspeção.

###### A) Pista de Rolamento

Conforme já havia sido relatado em inspeções anteriores, há um estreitamento de pista na ponte, devido à existência de um passeio de pedestres no local onde, segundo o projeto, deveria haver a continuidade do acostamento. Além disso, não havia uma sinalização de advertência em relação ao início da barreira New Jersey no acostamento. O pavimento apresentava boas condições, existindo apenas um leve assentamento do aterro na saída da ponte, que causou inclusive um desalinhamento vertical da barreira de segurança. Foram identificadas diversas manifestações patológicas nas barreiras de segurança e principalmente no guarda-corpo, como fissuras, deslocamentos, armaduras expostas e/ou oxidadas, manchas e falhas de concretagem. Verificou-se a adoção de espessuras menores de cobrimento nas barreiras de segurança e no guarda-corpo em desacordo com o projeto, o que pode justificar o surgimento precoce de danos relacionados à corrosão de armadura. As juntas de dilatação

estavam completamente obstruídas pelo revestimento asfáltico, impedindo a livre movimentação da superestrutura da ponte e propiciando o acúmulo de umidade e a deterioração do material de vedação. As cortinas apresentaram pontos de infiltração de água, relacionados a problemas na drenagem nos encontros. Tinham também muitas manchas escuras causadas por fezes e urina de morcegos. Embora não tenham sido identificados pontos de acúmulo de água na pista, verificou-se uma falha no sistema de drenagem da ponte. Ao implantar o passeio local onde seria o acostamento, os drenos previstos para o lado esquerdo da ponte ficaram concentrados apenas na passarela. Assim, a água pluvial da pista é conduzida para fora da ponte apenas através do seu escoamento pelo bordo da pista, gerando acúmulo de detritos e infiltração de água na junta de dilatação. A Figura 4.92 mostra as condições da pista de rolamento, incluindo estrutura de contenção, dispositivos de sinalização e segurança viária.



(a) Vista geral da pista no sentido Belo Horizonte – Bom Despacho.



(b) Vista da ponte no sentido Bom Despacho - Belo Horizonte. No detalhe, estreitamento de pista na ponte.



(c) Desalinhamento vertical da barreira New Jersey.



(d) Corrosão de armadura na barreira New Jersey



(e) Corrosão de armadura no guarda-corpo.



(f) Corrosão de armadura e deslocamento no guarda-corpo.



(g) Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico.



(h) Infiltração de água em uma das cortinas.



(i) Umidade, manchas escuras e população de morcegos na cortina.



(j) Acúmulo de detritos e crescimento de vegetação sobre a junta de dilatação.

Figura 4.92 – Condições da pista de rolamento da ponte reabilitada sobre o Ribeirão dos Paivas.

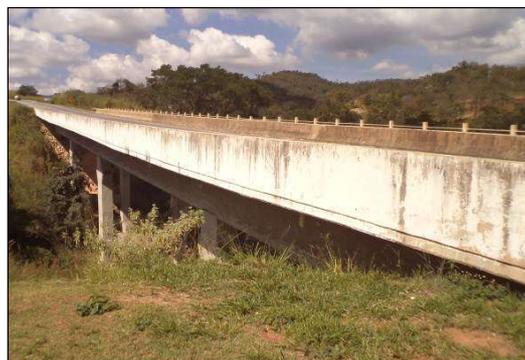
## B) Superestrutura

Os principais danos identificados na superestrutura se concentraram na face inferior da laje, que não recebeu nenhuma intervenção de reforço, apenas recuperação de fissuras. Os danos da laje estão relacionados à falha nos drenos e nas pingadeiras, que não estão desempenhando bem o seu papel, permitindo a percolação de água pela laje nos dois balanços laterais da ponte. Foram verificadas ainda uma desagregação do concreto na face inferior da laje ao redor

de um dreno e falhas de concretagem pontuais nas longarinas, onde foi realizado o serviço de apicoamento na face inferior para receber a nova camada de concreto, mas os locais onde se apoiam os pilares não foram recompostos, deixando exposta parte da armadura. Esse procedimento adotado está em desacordo com o projeto, que previa a execução do reforço em toda a face inferior da longarina. No ensaio de pacometria, verificou-se cobertura insuficiente nas transversinas, no reforço das longarinas e na laje, inclusive na sua parte alargada. A Figura 4.93 mostra a situação em que se encontra a superestrutura desta ponte.



(a) Vista inferior do tabuleiro.



(b) Vista lateral da superestrutura, no lado direito da ponte.



(c) Falha de concretagem, com armadura exposta em uma longarina.



(d) Concreto desagregado ao redor de um dreno na laje, com armadura exposta.



(e) Falha na pingadeira, com água percolando pelo balanço lateral da laje.



(f) Idem foto anterior.



(g) Falha nos drenos, com água percolando pelo balanço lateral da laje.



(h) Idem foto anterior.

Figura 4.93 – Situação da superestrutura da ponte rehabilitada sobre o Ribeirão dos Paivas.

### C) Mesoestrutura

De maneira geral, a mesoestrutura encontra-se em bom estado de conservação. Identificou-se apenas uma falha na execução do reforço dos pilares e das vigas principais, onde foi criada uma restrição à movimentação da superestrutura, diferentemente do previsto no projeto de reforço. A princípio, esta restrição ainda não provocou danos na estrutura, mas já se observa o deslocamento do concreto no topo de um pilar, provavelmente devido à movimentação da superestrutura. Os ensaios de pacometria apontaram espessuras de cobrimento próximas às especificadas no projeto de reforço dos pilares. A Figura 4.94 mostra a situação em que se encontram os elementos da mesoestrutura desta ponte.



(a) Vista geral da mesoestrutura.



(b) Falha na execução do reforço dos pilares e das longarinas, com restrição à movimentação da superestrutura.



(c) Idem foto anterior.



(d) Deslocamento do concreto no topo do pilar.

Figura 4.94 – Situação da mesoestrutura da ponte rehabilitada sobre o Ribeirão dos Paivas.

#### D) Infraestrutura

Foi possível visualizar apenas os quatro blocos de reforço implantados durante as obras de reabilitação, tendo em vista que os demais elementos estão abaixo do nível do terreno. Todos encontram em perfeitas condições de conservação e não há nenhum sinal de recalque ou deslocamento de fundação em toda a ponte, o que atesta o bom desempenho dos seus elementos de fundação. Foi identificada apenas a ausência de proteção vegetal nos taludes das duas extremidades da ponte e alguns pontos de erosão, que precisam ser corrigidos a fim de se evitar a ocorrência futura de algum tipo de instabilidade na fundação ou na contenção da pista. A Figura 4.95 mostra os problemas relacionados à infraestrutura desta ponte.



(a) Talude desprotegido e erosão em uma das extremidades da ponte.



(b) Talude desprotegido na outra extremidade da ponte.

Figura 4.95 – Situação da infraestrutura da ponte rehabilitada sobre o Ribeirão dos Paivas.

São apresentados no Quadro 4.25, para cada metodologia de avaliação adotada, a nota técnica atribuída, sua respectiva classificação e as ações corretivas recomendadas.

Quadro 4.25 – Resultados da inspeção da ponte reabilitada sobre o Ribeirão dos Paivas.

<b>Metodologia</b>	<b>Nota Técnica</b>	<b>Classificação</b>	<b>Ação Corretiva</b>
DNIT	4	Condição Boa – obra sem problemas importantes.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
GDE-UnB	22,95	Nível de deterioração médio.	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
ABNT (Estrutural)	4	Condição Boa – A estrutura apresenta danos pequenos, sem comprometer a segurança estrutural.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
ABNT (Funcional)	4	Condição Regular - A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
ABNT (Durabilidade)	3	Condição Regular - A OAE apresenta moderadas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.	Os defeitos requerem ações de médio prazo.

#### 4.5.4.2 Inspeção realizada na ponte nova

São descritas a seguir as condições atuais de cada elemento constituinte da ponte nova, assim como os principais danos ou anomalias identificados durante a inspeção.

##### A) Pista de Rolamento

A ponte nova apresenta estreitamento de pista pelos mesmos motivos da antiga. O pavimento estava em boas condições, existindo apenas algumas trilhas de rodas e ondulações leves nos acessos. Foi observado um leve assentamento do aterro na entrada da ponte, que causou inclusive um desalinhamento vertical da barreira de segurança. Foram identificadas diversas manifestações patológicas nas barreiras de segurança e principalmente no guarda-corpo, como fissuras, armaduras expostas e/ou oxidadas, manchas e falhas de concretagem. Verificou-se a adoção de espessuras de cobertura nas barreiras de segurança e no guarda-corpo em

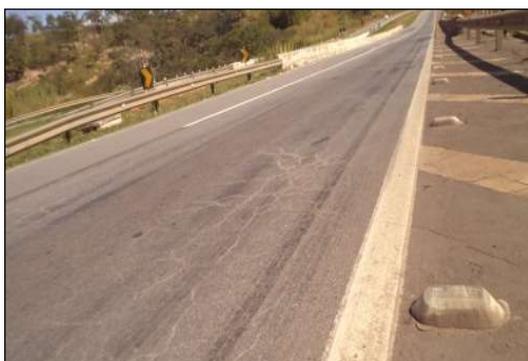
desacordo com o projeto, o que pode justificar o surgimento precoce de danos relacionados à corrosão de armadura. As juntas de dilatação estavam completamente obstruídas pelo revestimento asfáltico, impedindo a livre movimentação da superestrutura da ponte e propiciando o acúmulo de umidade e a deterioração do material de vedação da junta. As cortinas apresentaram pontos de infiltração de água, provavelmente associados a problemas de drenagem nos encontros. Verificou-se uma falha no sistema de drenagem da ponte, onde os drenos previstos para o lado direito da ponte ficaram concentrados apenas na pista quando da implantação da passarela no local onde seria o acostamento. Assim, a passarela ficou desprovida de drenagem. A Figura 4.96 mostra as condições da pista de rolamento, incluindo estrutura de contenção, dispositivos de sinalização e segurança viária.



(a) Vista da ponte no sentido Belo Horizonte – Bom Despacho. No detalhe, estreitamento de pista no acostamento.



(b) Vista da ponte no sentido Bom Despacho - Belo Horizonte. No detalhe, a passarela de pedestres no acostamento.



(c) Pavimento com trilhas de roda e ondulações, no acesso à ponte.



(d) Desalinhamento vertical da barreira New Jersey.



(e) Manchas e infiltração de água na barreira New Jersey.



(f) Fissuras provocadas por corrosão de armadura no guarda-corpo.



(g) Deslocamento do concreto no guarda-corpo.



(h) Manchas de infiltração de água em uma cortina.



(i) Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico, com acúmulo de detritos e vegetação.



(j) Acúmulo de detritos na pista, provocando a obstrução dos drenos.

Figura 4.96 – Condições da pista de rolamento da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.

## B) Superestrutura

Os principais problemas patológicos identificados na superestrutura estavam relacionados ao mau desempenho do sistema de drenagem, que em sua maioria não se mostrou eficiente, permitindo a percolação de água pela face inferior da laje nos dois balanços laterais, atingindo também as vigas principais em alguns pontos. Muitos drenos possuíam comprimento insuficiente para afastar o fluxo de água da superestrutura e também havia infiltração ao redor

de alguns deles. Havia outros pontos de infiltrações nos vãos da laje, inclusive com sintomas de lixiviação. Foram verificadas algumas falhas de concretagem pontuais em algumas longarinas e transversinas, que a princípio não causam insuficiência estrutural, mas podem comprometer sua durabilidade. Verificou-se uma não conformidade na execução do encabeçamento da ponte, quando a saia do aterro atingiu parte de uma viga principal, fazendo com que a mesma trabalhe também como uma viga de contenção e ainda absorva a umidade do aterro. Nos ensaios de pacometria, verificou-se cobertura insuficiente nas transversinas e na face inferior das longarinas. A Figura 4.97 mostra a situação em que se encontra a superestrutura desta ponte.



(a) Vista inferior do tabuleiro.



(b) Vista lateral da superestrutura.



(c) Umidade na longarina, provocada por falha no dreno e aterro apoiado na viga.



(d) Falha no funcionamento da pingadeira, com água percolando pela laje.



(e) Idem foto anterior.



(f) Falha no funcionamento de um dreno, com água percolando pela laje.



(g) Manchas de infiltração no vão da laje.



(h) Idem foto anterior.

Figura 4.97 – Situação da superestrutura da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.

### C) Mesoestrutura

Em geral, os elementos da mesoestrutura encontravam-se em boas condições de conservação. Foram identificadas apenas algumas falhas de concretagem superficiais, manchas de infiltração em vigas de contraventamento e acúmulo de solo do aterro sobre um aparelho de apoio. Nos ensaios de pacometria, verificaram-se espessuras de cobertura insuficientes em alguns pilares. A Figura 4.98 mostra a situação atual dos elementos da mesoestrutura.



(a) Vista geral da mesoestrutura.



(b) Marcas de infiltração na viga de contraventamento.



(c) Falha de concretagem em um pilar.



(d) Soterramento do aparelho de apoio pelo aterro do encabeçamento da ponte.

Figura 4.98 – Situação da mesoestrutura da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.

#### D) Infraestrutura

A infraestrutura encontra-se aparentemente em bom estado de conservação, considerando que não há nenhum sinal de recalque ou deslocamento de fundação em toda a ponte. Foram identificados apenas alguns pontos de erosão nos taludes, que precisam ser corrigidos a fim de se evitar a ocorrência futura de algum problema de instabilidade na fundação ou na contenção da pista. Além da ausência de proteção vegetal, as erosões foram provocadas pelo mau posicionamento de alguns drenos, que direcionam a água pluvial para a saia do aterro. Nos ensaios de pacometria, verificou-se cobertura insuficiente nas armaduras transversais de alguns tubulões. A Figura 4.99 mostra os danos identificados na infraestrutura desta ponte.



(a) Talude sem proteção vegetal.



(b) Erosão no talude da pista provocada pelo mau posicionamento de um dreno.

Figura 4.99 – Situação da infraestrutura da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas

São apresentados no Quadro 4.26, para cada metodologia de avaliação adotada, a nota técnica atribuída, sua respectiva classificação e as ações corretivas recomendadas.

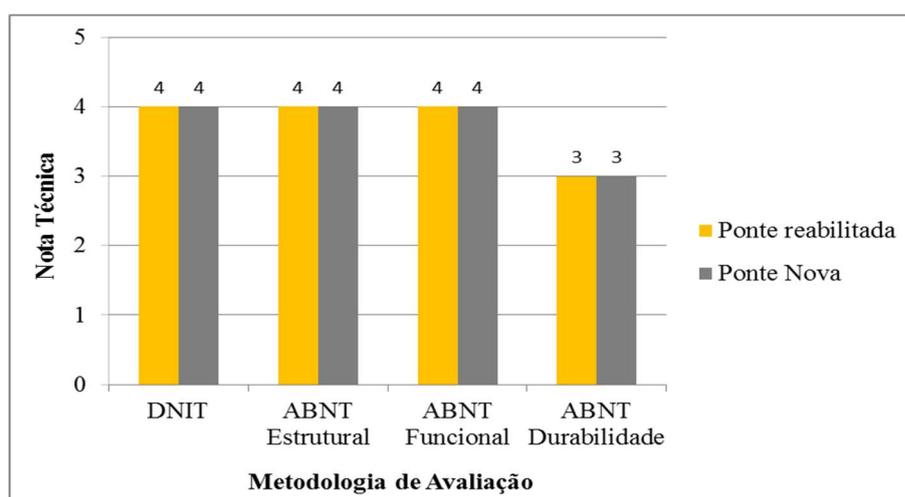
Quadro 4.26 – Resultados da inspeção da ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas.

Metodologia	Nota Técnica	Classificação	Ação Corretiva
DNIT	4	Condição Boa – obra sem problemas importantes.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
GDE-UnB	22,60	Nível de deterioração médio.	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).

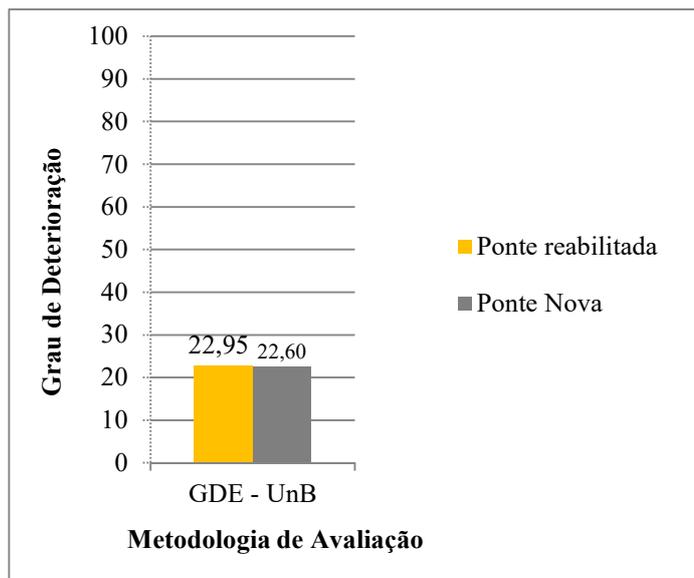
ABNT (Estrutural)	4	Condição Boa –A estrutura apresenta danos pequenos, sem comprometer a segurança estrutural.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
ABNT (Funcional)	4	Condição Boa - A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.
ABNT (Durabilidade)	3	Condição Regular - A OAE apresenta moderadas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.	Os defeitos requerem ações de médio prazo.

#### 4.5.5 Comparação entre as pontes sobre o Ribeirão dos Paivas

De maneira geral, as duas pontes apresentaram um desempenho satisfatório, não existindo nenhum dano significativo que possa afetar a sua integridade estrutural ou a sua funcionalidade. A Figura 4.100 demonstra, através de gráficos, as notas técnicas atribuídas a cada ponte, segundo diferentes metodologias de avaliação.



(a) Avaliação segundo metodologias DNIT e ABNT



(b) Avaliação segundo metodologia GDE-UnB

Figura 4.100 – Notas técnicas atribuídas às duas pontes sobre o Ribeirão dos Paivas.

Neste estudo de caso, observa-se uma convergência dos resultados em todas as comparações. Independentemente da metodologia de avaliação utilizada, as duas pontes receberam notas técnicas equivalentes e ao mesmo tempo fiéis à realidade. De acordo com as notas técnicas atribuídas, observa-se que as duas pontes apresentaram um ótimo desempenho.

De acordo com a metodologia do DNIT, para ambas as pontes, recomenda-se apenas a realização de serviços de manutenção. As notas técnicas foram atribuídas em função de pequenos danos que foram identificados, mas que não geram insuficiência estrutural.

Esses mesmos defeitos também influenciaram as notas técnicas segundo os parâmetros estrutural e funcional da ABNT. Com relação ao parâmetro da durabilidade, as notas técnicas das duas pontes foram igualmente afetadas pela ausência de proteção vegetal e pequenas erosões nos taludes, que podem causar instabilidade na fundação ou na contenção da pista. De acordo com as classificações obtidas por esta metodologia, foram recomendadas ações em médio prazo para a correção das anomalias que afetam a durabilidade das pontes, e apenas serviços de manutenção para os demais parâmetros avaliados.

Assim como ocorreu nas outras metodologias, as notas atribuídas seguindo o critério de avaliação da metodologia GDE-UnB foram satisfatórias e semelhantes nas duas pontes. Foram recomendadas intervenções de longo prazo para ambas.

Observa-se uma maior coerência nas recomendações geradas pela metodologia da ABNT, pois foi a única que recomendou intervenções em médio prazo para resolver os problemas relacionados à ausência de proteção vegetal e erosões nos taludes dos encontros. Esses problemas sequer influenciaram as notas técnicas atribuídas pelas metodologias do DNIT e GDE-UnB, por ainda não causarem nenhum tipo de insuficiência estrutural. No entanto, sua evolução poderá trazer danos no futuro, comprometendo assim a durabilidade da ponte.

Os principais danos identificados na ponte reabilitada, além não causarem insuficiência estrutural, não se trata de deterioração de elementos estruturais antigos ou falhas nos procedimentos de alargamento e reforço adotados. Por esse motivo, pode-se afirmar que as intervenções de reabilitação foram eficazes.

A exemplo das pontes sobre o Rio Paraopeba, existem anomalias comuns às duas pontes (estreitamento de pista, sistema de drenagem ineficiente, deterioração precoce do concreto nas barreiras de segurança e guarda-corpo e obstrução das juntas de dilatação com o revestimento asfáltico). Neste caso também se observou a adoção de espessuras de cobertura nas barreiras de segurança e guarda-corpo em desacordo com o projeto, o que pode justificar a sua deterioração precoce.

Analisando os dados obtidos durante as inspeções e considerando o nível de deterioração de cada ponte, observa-se que, de maneira geral, as duas pontes tiveram um desempenho semelhante. Portanto, pode-se concluir que neste caso o aproveitamento da estrutura existente se mostrou viável sob o ponto de vista da durabilidade, considerando ainda que os principais danos identificados na ponte reabilitada não se tratavam de reincidência de problemas patológicos tratados durante a obra ou falhas nas intervenções de alargamento e reforço.

#### **4.6 Análise dos resultados**

Os resultados das inspeções anteriores, realizadas pelas concessionárias responsáveis por cada trecho de rodovia, divergem dos resultados atuais em alguns casos. As diferenças ocorreram principalmente em função da subjetividade inerente à metodologia de avaliação do DNIT, a qual foi adotada em todas as inspeções anteriores. Com exceção de algumas anomalias

importantes identificadas na ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim e nas pontes rehabilitadas sobre o Ribeirão Mateus Leme e Rio Pará, geralmente os danos que influenciaram os resultados das avaliações atuais já haviam sido detectados nas inspeções anteriores. Porém, as notas técnicas atuais foram piores em metade das pontes avaliadas. A Figura 4.101 mostra uma comparação entre as notas técnicas atuais e anteriores, seguindo a metodologia de avaliação do DNIT.

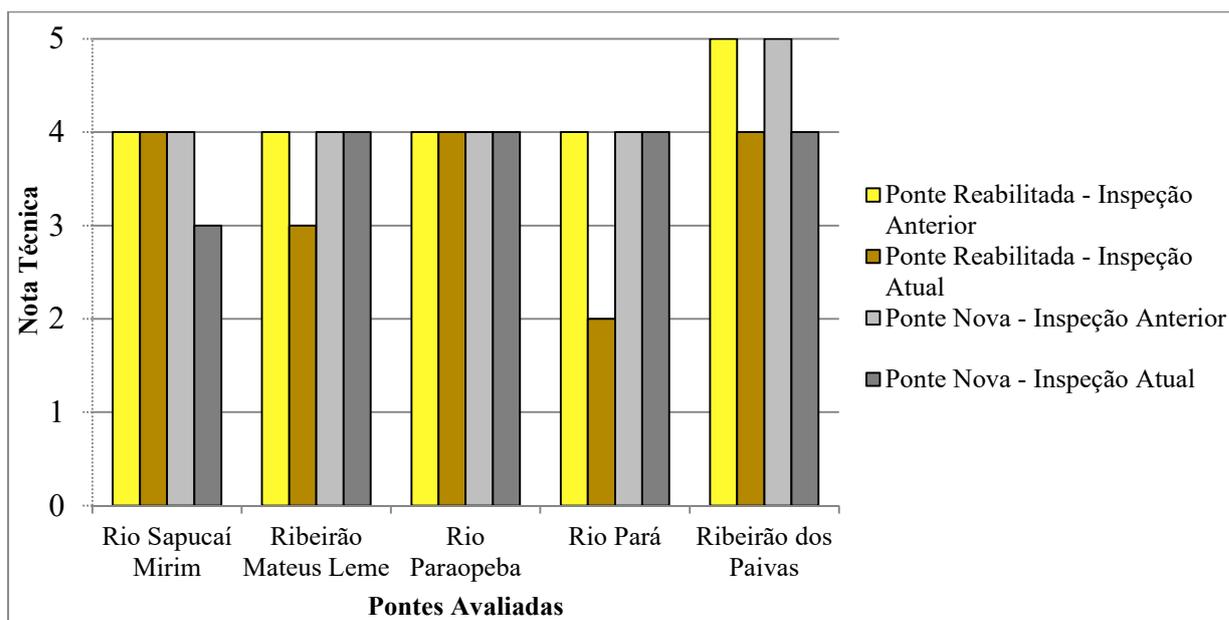


Figura 4.101 – Comparação entre as notas técnicas atuais e anteriores, seguindo a metodologia do DNIT.

De maneira geral, as três metodologias de avaliação adotadas apresentaram resultados coerentes entre si, com algumas exceções em relação às recomendações de prazo para a tomada de providências. Porém, a metodologia GDE-UnB apresentou resultados mais escalonados, que permitem uma melhor visualização do nível de deterioração de cada ponte e por isso mostrou-se mais adequada para a finalidade desta pesquisa que foi a comparação de desempenho entre as pontes novas e as rehabilitadas. A nota técnica gerada por esta metodologia possibilita que se faça também uma avaliação quantitativa do nível de deterioração das pontes, por se tratar de um somatório de todos os defeitos, levando-se em consideração o tipo de dano, sua importância para o elemento, sua intensidade e a relevância estrutural do elemento afetado. Já a metodologia de avaliação da ABNT seria a mais indicada para a alimentação de sistemas de gestão de pontes, com a vantagem de apresentar resultados em separado para cada parâmetro de avaliação (estrutural, funcional e de durabilidade), possibilitando ao gestor a tomada de decisão em relação à priorização de recursos, baseada em

indicadores objetivos de desempenho para cada elemento estrutural da ponte. Além disso, essa metodologia forneceu prazos para a tomada de providências mais coerentes com a real urgência demandada por cada anomalia detectada.

A Figura 4.102 apresenta o grau de deterioração calculado para cada ponte, seguindo a metodologia GDE-UnB, para fins de comparação de desempenho entre os cinco pares de pontes avaliados nesta pesquisa.

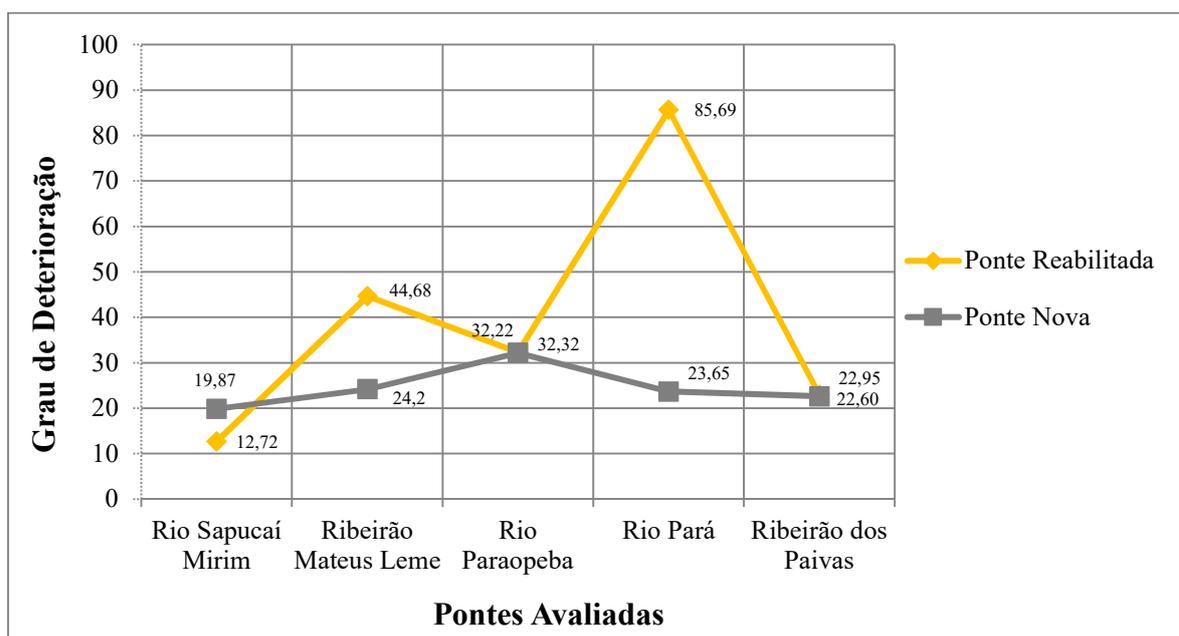


Figura 4.102 – Grau de deterioração de cada ponte, seguindo a metodologia GDE-UnB.

Verifica-se que dos cinco estudos de caso realizados, a ponte nova apresentou melhor desempenho em dois casos, pior desempenho em um e resultados praticamente iguais em outros dois casos. Nota-se que no caso em que a ponte reabilitada apresentou melhor desempenho em comparação com a ponte nova, a diferença foi pequena, mas quando o desempenho foi pior, as diferenças foram mais significativas, principalmente no caso das pontes sobre o Rio Pará. É importante ressaltar que os maus resultados apresentados pelas duas pontes reabilitadas não estão relacionados à inviabilidade técnica dos procedimentos de alargamento e reforço adotados, mas sim a falhas de execução, má qualidade dos materiais ou deficiência dos projetos de recuperação.

Ao comparar o desempenho das pontes, nota-se que entre as pontes novas houve certa uniformidade. As cinco pontes avaliadas obtiveram a mesma classificação segundo a

metodologia GDE-UnB, cujo nível de deterioração é considerado médio e recomenda-se intervenções em longo prazo. Já as pontes reabilitadas apresentaram resultados diversificados, com classificações variando de nível de deterioração baixo a sofrível e recomendações que vão desde manutenção preventiva até intervenções em curto prazo.

As pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim obtiveram os melhores resultados entre as pontes avaliadas, embora as obras de reabilitação e de construção tenham ocorrido há mais tempo (12 anos a reabilitação da ponte antiga e 13 anos a construção da nova). Esses bons resultados podem ser atribuídos, além do sucesso das intervenções de reabilitação, à manutenção adequada que vem sendo realizada pela concessionária desde o início da concessão da rodovia ocorrida em 2008. De acordo com informações constantes nos relatórios das inspeções anteriores, diversos danos surgiram e foram sanados ao longo dos anos. As outras pontes avaliadas situam-se em rodovia que foi concedida mais recentemente, a partir de 2014, o que pode justificar o fato de ainda não terem ocorrido intervenções de manutenção mais relevantes até o momento. Além disso, a solução adotada para reforço da superestrutura com protensão externa das longarinas e protensão transversal da laje certamente trouxe benefícios à durabilidade da ponte reabilitada, pois ao aplicar uma força de compressão nesses elementos, as fissuras existentes foram fechadas e ainda se evita o surgimento de novas fissuras no concreto e conseqüentemente a penetração de agentes deletérios.

Ao comparar as notas técnicas das diferentes pontes avaliadas, observa-se que os seus desempenhos não guardam nenhuma relação com a extensão das pontes ou o tamanho dos seus vãos maiores. De acordo com o gráfico mostrado na Figura 4.103, observa-se que as pontes que possuem a maior e a menor extensão apresentaram os piores resultados, com melhor desempenho da ponte nova em ambos os casos. O mesmo ocorre com o tamanho dos vãos, onde se verifica que os piores resultados foram apresentados por pontes que possuem vãos de tamanho mediano, enquanto as pontes com os menores e os maiores vãos obtiveram bons resultados, como pode ser observado na Figura 4.104.

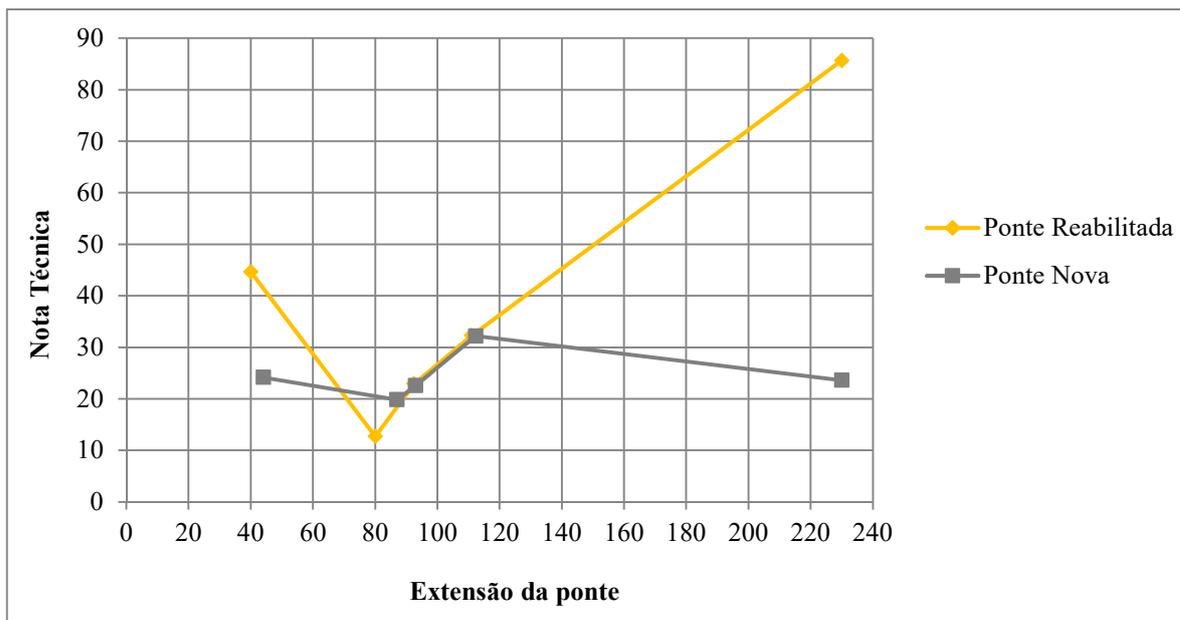


Figura 4.103 – Nota Técnica x Extensão da Ponte.

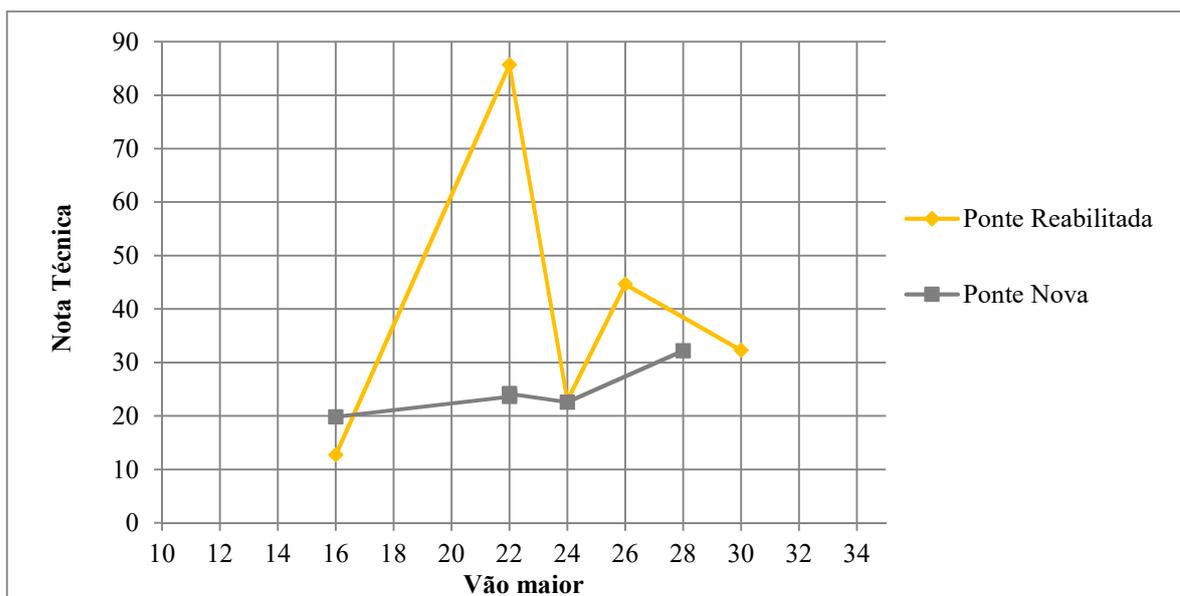


Figura 4.104 – Nota Técnica x Comprimento do Vão Maior

As idades das pontes originais também não influenciaram diretamente os resultados das avaliações de desempenho. Conforme mostrado na Figura 4.105, a ponte mais antiga apresentou melhor desempenho, enquanto a ponte detentora do pior resultado trata-se de umas das mais recentes dentre as pontes avaliadas. É importante ressaltar que embora as pontes tenham sido projetadas em períodos diferentes, não era de se esperar grandes diferenças de desempenho entre elas, visto que foram construídas praticamente na mesma década e provavelmente utilizaram as mesmas técnicas construtivas.

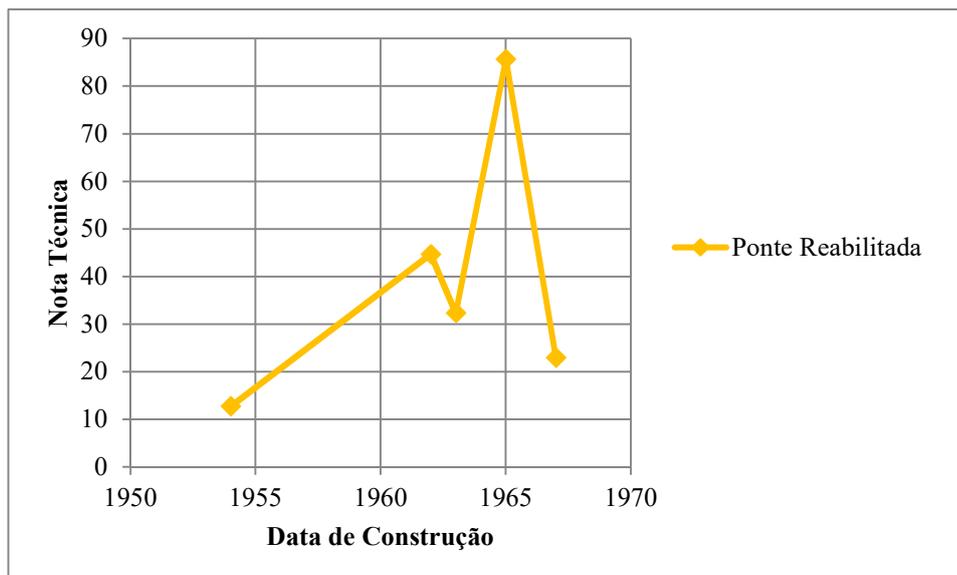


Figura 4.105 – Nota Técnica x Data de Construção da Ponte.

Praticamente todos os elementos estruturais que receberam reforço com aumento de seção transversal apresentaram bons resultados, com exceção apenas de alguns casos em que ocorreram falhas na execução do reforço. Esse bom desempenho pode ser atribuído ao fato de que esse método de reforço, além de aumentar resistência mecânica, acaba gerando um ganho em termos de durabilidade devido à revitalização do concreto na superfície do elemento e à adoção de espessuras de cobertura de armadura maiores do que aquelas usualmente adotadas nas décadas de 50 e 60, quando foram construídas as pontes originais. Embora nem sempre tenham sido atendidas as especificações do projeto de reforço das pontes no que se referem ao cobrimento das armaduras, os resultados dos ensaios de pacometria mostraram essa enorme diferença entre as espessuras de cobertura adotadas nos elementos que receberam reforço com aumento de seção e aquelas adotadas nos elementos originais. Em alguns casos, verificou-se também o não atendimento às espessuras de cobertura previstas nos projetos das pontes novas, mas essa deficiência ainda não resultou em danos, provavelmente devido a pouca idade dessas pontes.

Dentre as dez pontes inspecionadas, verificou-se o não atendimento às espessuras de cobertura de armadura previstas no projeto das barreiras de segurança do tipo New Jersey na maioria dos casos, o que pode justificar o surgimento precoce de danos relacionados à corrosão de armadura nesses elementos. As barreiras de segurança que se encontram em melhores condições de conservação pertencem às pontes sobre o Ribeirão Mateus Leme e

sobre o Rio Sapucaí Mirim. As espessuras de cobertura foram atendidas nesses dois casos, o que atesta a sua importância para a durabilidade dos elementos de concreto armado.

Os danos mais frequentes, identificados em todas as pontes avaliadas, estavam relacionados aos sistemas de drenagem, que se mostraram ineficientes, não conseguindo atingir o objetivo de coletar a água pluvial da pista e proteger a superestrutura. Os estudos mostraram a importância de um sistema de drenagem eficiente para a durabilidade das pontes.

Outro dano comum, identificado em praticamente todas as pontes avaliadas, refere-se às más condições das juntas de dilatação, que em muitos casos foram obstruídas pelo revestimento asfáltico e não recebem uma manutenção adequada. O material de vedação geralmente se deteriora em curto espaço de tempo e não é substituído de forma imediata, possibilitando a infiltração de água da pista nos elementos da superestrutura e dos encontros.

Com exceção das pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim, que teve o seu projeto de recuperação precedido de uma inspeção detalhada e um diagnóstico dos defeitos, nos demais casos os projetos de recuperação foram elaborados de forma genérica. Diante dos resultados, nota-se a importância de um projeto de recuperação mais abrangente, com previsão de tratamento de todos os elementos que não receberam reforço estrutural com aumento de seção transversal, visando garantir à ponte reabilitada um ganho da vida útil e conseqüentemente um desempenho similar a uma ponte nova também em relação ao parâmetro da durabilidade.

# 5

## CONCLUSÕES

Ao analisar os cinco estudos de caso realizados, pode-se concluir que as intervenções de reabilitação foram eficazes, sob o ponto de vista da durabilidade, em 80% dos casos, considerando que houve melhor desempenho da ponte reabilitada em um caso e desempenhos igualmente satisfatórios outros três. Ressalta-se, porém, que os maus resultados apresentados por uma ponte reabilitada não estão relacionados à inviabilidade técnica dos procedimentos adotados, mas sim a falhas de execução, má qualidade dos materiais ou deficiência dos projetos de recuperação. Isso demonstra a importância da fiscalização em todas as fases do processo de reabilitação de uma ponte, desde a elaboração dos projetos, passando pela execução dos serviços e finalmente no ato do recebimento da obra.

O estudo mostra a importância das intervenções de recuperação para o sucesso da reabilitação de uma ponte. Um bom projeto de recuperação deve ser precedido de uma inspeção detalhada, que possibilite a obtenção de um diagnóstico capaz de identificar os sintomas, mecanismos, causas e origem dos problemas patológicos. Esse diagnóstico fornecerá subsídios ao projetista para a indicação de soluções mais adequadas para o tratamento correto de cada defeito existente. Verifica-se ainda a necessidade de projetos de recuperação mais abrangentes, com previsão de intervenções preventivas em todos os elementos da estrutura antiga. A recuperação ineficiente de uma ponte poderá implicar no surgimento de custos posteriores de manutenção e ainda prejudicar a durabilidade da estrutura antiga e da própria solução de reforço implantada. Por outro lado, o tratamento adequado de toda a superfície de concreto armado garantirá um acréscimo da vida útil da ponte como um todo e conseqüentemente um resultado similar a uma ponte nova em relação ao parâmetro da durabilidade.

A camada de cobrimento das armaduras exerce um papel fundamental na durabilidade das estruturas de concreto armado. Os resultados dessa pesquisa corroboram essa afirmação, ao

demonstrar os bons resultados obtidos pelas pontes novas e pelos elementos estruturais das pontes antigas que receberam reforço com aumento de seção transversal, ao contrário das estruturas antigas que notadamente foram construídas com espessuras de cobertura bem menores. Além disso, verificou-se o surgimento precoce de danos relacionados à corrosão de armadura nas barreiras de segurança da maioria das pontes, com exceção daquelas que respeitaram as espessuras de cobertura de projeto para esses dispositivos.

Os danos mais frequentes, identificados em todas as pontes avaliadas (novas e reabilitadas), estavam relacionados aos sistemas de drenagem, que se mostraram ineficientes, não conseguindo atingir o objetivo de coletar a água pluvial da pista e proteger a superestrutura das pontes. Segundo Mehta e Monteiro (2008), a água é o fator central para a maioria dos problemas de durabilidade do concreto, podendo causar a sua degradação por processos físicos e/ou químicos, além da corrosão da armadura. Diante da grande incidência das falhas nos drenos e pingadeiras e a importância desses dispositivos para a durabilidade das pontes, nota-se a necessidade de maiores estudos em relação às soluções de drenagem usualmente adotadas em pontes.

Outro dano frequente, identificado em praticamente todas as pontes avaliadas, refere-se às más condições das juntas de dilatação que em muitos casos foram obstruídas pelo revestimento asfáltico e não receberam uma manutenção adequada. O material de vedação geralmente se deteriora em curto espaço de tempo e não é substituído de forma imediata, possibilitando a infiltração de água da pista nos elementos da superestrutura e dos encontros. Faz-se necessário um maior cuidado com as juntas de dilatação durante a execução de serviços de recapeamento da pista, a fim de se evitar a sua obstrução e conseqüentemente a sua deterioração. Além disso, nota-se a necessidade de um controle de qualidade mais rigoroso durante a instalação das juntas de dilatação, de forma a garantir que as mesmas funcionem adequadamente durante a sua vida útil de projeto.

As atividades de manutenção exercem um papel fundamental para a durabilidade da estrutura de concreto (DNIT, 2010). Nota-se a necessidade de uma maior atenção às atividades de manutenção das pontes, que além de garantir a segurança e o conforto dos usuários da rodovia através da execução de serviços de limpeza de pista, devem incluir também pequenos serviços corretivos, com baixo custo e grande impacto na durabilidade da estrutura, como recuperação de dispositivos de drenagem, de sinalização e segurança viária, reparos em pequenas áreas

degradadas de concreto, entre outras. Este estudo mostrou um bom exemplo da importância da manutenção para a durabilidade de estruturas de concreto armado, no caso das pontes sobre o Rio Sapucaí Mirim. Ambas as pontes apresentaram um ótimo desempenho, que pode ser atribuído, dentre outros fatores, à boa atuação da concessionária responsável. Desde o ano de 2008, diversos danos surgiram e foram sanados de modo a evitar a sua evolução.

Analisando os dados das inspeções, observa-se que a maioria das anomalias identificadas nas pontes reabilitadas foi causada por falhas construtivas, má qualidade dos materiais utilizados ou deficiência dos projetos de recuperação. Portanto, apesar do desempenho ruim apresentado pela ponte reabilitada em um dos casos, conclui-se que o aproveitamento das estruturas antigas era viável em todos os casos estudados.

## **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Este trabalho teve por objetivo estabelecer uma comparação de desempenho, sob o ponto de vista da durabilidade, entre pontes antigas que foram reabilitadas em obras de duplicação de rodovias e pontes novas que foram construídas ao lado. Para pesquisas futuras que sigam a mesma linha, visando complementar os estudos realizados neste trabalho, sugere-se:

- Realização de um levantamento dos custos de reabilitação de uma ponte antiga, de construção de uma nova e de manutenção de duas pontes nas mesmas condições desta pesquisa, que possibilite uma comparação do custo total das duas pontes ao longo de um determinado período;
- Estudo das soluções de drenagem usualmente adotadas em projetos de pontes rodoviárias, com o intuito de entender as causas das falhas identificadas nesta pesquisa e propor ações que possibilitem o seu funcionamento adequado;
- Estudo dos materiais utilizados na fabricação das juntas de dilatação, bem como dos procedimentos de instalação desses dispositivos, visando buscar respostas para a baixa durabilidade que tem sido observada;
- Estudo de modelos de deterioração aplicáveis a pontes rodoviárias de concreto armado.

# 6

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014. 238p.

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

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO – DER/SP. *Projeto de recuperação, reforço e alargamento de obra de arte especial: Instrução de Serviço IP-DE-C00/011*. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. *Manual de Inspeção de Pontes rodoviárias*. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2004a. 253p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. *Norma DNIT 010/2004 – PRO – Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - procedimento*. Rio de Janeiro, 2004b. 18p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. *Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos rodoviários*. Rio de Janeiro, 2010. 159p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. *Mapa Multimodal Minas Gerais*. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/download/mapas-multimodais/mapas-multimodais/mg.pdf>> Acesso em 09/08/2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. *Histórico do Rodoviarismo*. Disponível em <<http://www1.dnit.gov.br/historico/>> Acesso em 17/02/2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. *Sistema Nacional de Viação*. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/sistema-nacional-de-viacao>> Acesso em 17/02/2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. *Dados retirados do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais*. Acesso em 16/01/2018.

GIOVANNETTI, Ana Carolina V. P. *Avaliação do Estado de Conservação de Pontes – Estudo de Caso*. Dissertação (mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2014. 130p.

HELENE, Paulo (ed.); *Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto: Reparo, Reforço e Proteção*. São Paulo: Red Rehabilitar, São Paulo, 2003. 718p.

KLEIN, D.L.; GASTAL, F.P.S.L; CAMPAGNOLO, J.L; SILVA FILHO, L.C.P. *Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte*. XXV Jornadas Sul-Americanas de engenharia estrutural. Porto Alegre, 1991.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo.J.M. *Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais*. Tradução: Paulo Helene et al. 3.Ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. *Mapa descritivo da BR-040 em relação às outras rodovias brasileiras*. Disponível em < <http://www2.transportes.gov.br/bit/02-rodo/3-loc-rodo/loc-rodo/040.htm>> Acesso em 25/08/2017.

O CAMINHANTE. *Traçado da rodovia BR-381*. Disponível em <<https://omensagem77.files.wordpress.com/2015/03/br-381.jpg>> Acesso em 09/08/2017.

OLIVEIRA, Caroline Buratto de Lima. *Análise da eficácia de métodos de reforço de pontes rodoviárias de concreto armado*. Dissertação (mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2013. 211p.

PFEIL, Walter. *Pontes: curso básico: projeto, construção e manutenção*. Rio de Janeiro, 1983a.

PFEIL, Walter. *Pontes em Concreto Armado: Elementos de projeto, Solicitações, Superestrutura*. 3. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983b.

PORTAL DE PESQUISAS TEMÁTICAS E EDUCACIONAIS. *Mapa do Brasil*. Disponível em <<http://www.suapesquisa.com/paises/brasil/mapa.htm>> Acesso em 09/08/2017.

SILVA, M. R.; PINHEIRO, S. M. M. *Biodeterioração do concreto*. In: ISAIA, G. C. *Concreto: Ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. 2 v. p. 857-878.

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

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO - TCU. *Acórdão 725/2012 – Plenário*. Brasília, 2012.

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

VIEIRA, G. D.; NEIVA, P.H.G.; BATISTA, A.L.S.; DIAS, B.M.T.; SAMPAIO, R.A.C. *Monitoramento e Classificação de risco em pontes rodoviárias de concreto na Região Metropolitana de Belém-PA*. 58º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte, MG, IBRACON, 2016.

VITÓRIO, J.A.P. *Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão*. Recife, CREA-PE, 2002. 140p.

VITÓRIO, J.A.P. *Um estudo comparativo sobre métodos de alargamento de pontes rodoviárias de concreto armado, com a utilização das normas brasileiras e eurocódigos*. Tese de doutorado na Universidade do Porto, Portugal, 2013. 296p.

VITÓRIO, J.A.P. *Análise comparativa entre métodos de alargamento e reforço de pontes de concreto armado*. In: Revista Concreto & Construções. Ed. IBRACON. n. 88. São Paulo, p, 104-112, 2017.

VITÓRIO, J.A.P.; BARROS, R.M.M.C. *A utilização do Eurocódigo em Projetos de Alargamento e Reforço de Pontes Rodoviárias de Concreto*. VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

WIKIMEDIA COMMONS. *Traçado da rodovia BR-262*. Disponível em <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24263889>> Acesso em 06/09/2017.

# APÊNDICE A - FICHAS DE INSPEÇÃO DAS PONTES SOBRE O RIO SAPUCAÍ MIRIM

## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

OAE: Código: \_\_\_\_\_ Nome: Ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim - Sul BR-381 / MG km: 856+315m UNIT: \_\_\_\_\_ RES: \_\_\_\_\_  
 Data: 28/07/2017 Inspeção:  DNIT/Residência:  Outra Entidade: Estudante de Mestrado - Engenharia de Estruturas/UFMG

**COMENTÁRIOS GERAIS**

a) Condições de Estabilidade:  Boa  Sofrível  Precária Condições de Conservação:  Boa  Regular  Sofrível  Ruim

b) Nível de Vibração do Tabuleiro:  Normal  Intenso  Exagerado

c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária?  SIM  NÃO Urgente?  SIM  NÃO

Já houve alguma anteriormente?  SIM  NÃO

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS:  
 (Ponte Antiga Reabilitada)

NOTA TÉCNICA	NOTA TÉCNICA
4	4

1. LAJE	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Buraco (abertura)	<input type="checkbox"/> Existe		
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração		
Marcas de infiltração	<input type="checkbox"/> Forte		
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente / Pouco		
	<input type="checkbox"/> É Iminente		
	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
	<input checked="" type="checkbox"/> Grande Incidência		

Devido a um deslocamento pontual no vão 02.  
 Na face inferior dos balancos laterais, devido a percolação de água.  
 Nos balancos laterais da laje (falhas em drenos e pingadeiras).  
 Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de pacometria.

2. VIGAMENTO PRINCIPAL	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Fissuras Finas	<input type="checkbox"/> Algumas		
Trincas (fissuras w>0,3mm)	<input type="checkbox"/> Algumas		
Armadura Principal	<input checked="" type="checkbox"/> Exposta		
Desagreg. De Concreto	<input type="checkbox"/> Muito Intenso		
Dente Gerber	<input type="checkbox"/> Quebrado/ Desplacado		
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Exagerada		
Aspectos do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		
	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
	<input type="checkbox"/> Trincado		

Pontual, devido a um deslocamento causado por colisão de veículo.  
 Falhas de concretagem pontuais nos blocos de reforço das longarinas.  
 Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de pacometria.

## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

3. MESOESTRUTURA	Nota Técnica: <input type="text" value="4"/>	Local	Quantidade (Opcional)
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	_____	_____
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	_____	_____
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração	_____	_____
Aparelho de Apoio	<input type="checkbox"/> Danificado	_____	_____
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade	_____	_____
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente/ Pouco	_____	_____
Desaprumo	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Deslocabilidade dos Pilares	<input type="checkbox"/> Forte	_____	_____

*Falha de concretagem pontual no reforço do pilar P12.*

*Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de picometria nos pilares intermediários.*

4. INFRAESTRUTURA	Nota Técnica: <input type="text" value="4"/>	Local	Quantidade (Opcional)
Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Deslocamento de Fundação	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Erosão Terreno de Fundação	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Estacas Desenterradas	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____

*Desgaste superficial do concreto dos tubulões submersos, por erosão.*

5. PISTA / ACESSO	Nota Técnica: <input type="text" value="4"/>	Local	Quantidade (Opcional)
Irregularidades no Pav.	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	_____	_____
Junta de Dilatação	<input type="checkbox"/> Faltando / Inoperante	_____	_____
Acessos x Ponte	<input type="checkbox"/> Degrau Acentuado	_____	_____
Acidentes com Veículos	<input type="checkbox"/> Frequente	_____	_____

*Pequenas irregularidades no pavimento nos acessos da ponte.*

*Material de vedação deteriorado, permitindo a infiltração de água da pista.*

*Danos causados por colisão nas lancharinas, retorno irregular sob a ponte.*

ESQUEMAS

### FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA - ABNT

Inspeção Rotineira (ano):	2017	OAE Código:	
Jurisdição (órgão, Concessão ou outros):	Concessão	Data da Inspeção:	28/07/2017
<b>PARTE 1 - Informações Gerais</b>			
<b>A - Identificação e localização</b>			
Via ou município:	BR-381/MG	Sentido:	Crescente
Obra:	Ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim - Sul (reabilitada)	Localização (km ou endereço):	km: 856+315m
<b>B - Histórico das inspeções</b>			
Inicial:	2008	Última Rotineira:	2015
Especial:	-		
<b>C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>			
Reparos:	Reabilitação concluída em 2005.		
Alargamento:	Alargamento do tabuleiro com protensão transversal concluído em 2005.		
Reforços:	Reforço das longarinas com protensão externa e dos pilares extremos com aumento de seção.		
<b>PARTE II - Registro de manifestações patológicas</b>			
<b>A - Elementos Estruturais</b>			
Superestrutura:	Exposição de armaduras, cobertura deficiente, marcas de infiltração, concreto deteriorado.		
Mesoestrutura:	Falha de concretagem pontual, desgaste superficial devido à erosão e cobertura insuficiente.		
Infraestrutura:	Desgaste superficial do concreto nos tubulões submersos, devido à erosão.		
Aparelhos de apoio:			
Juntas de dilatação:	Material de vedação deteriorado, permitindo a infiltração de água da pista.		
Encontros:	Pequenas manchas de infiltração nas cortinas.		
Outros elementos:			
<b>B - Elementos da pista ou funcionais</b>			
Pavimento:	Pequenas irregularidades nas pistas de acesso e trincas ao lado das barreiras de segurança.		
Acostamento e refúgio:			
Drenagem:	Falha no funcionamento de drenos e pingadeiras nos balanços laterais da laje.		
Guarda-corpos:			
Barreiras rígidas/Defensas metálicas:	Manchas escuras nas barreiras devido ao acúmulo de fuligem.		
<b>C - Outros elementos</b>			
Taludes:			
Iluminação:			
Sinalização:			
Gabaritos:	Retorno clandestino sob a ponte, provocando colisões na face inferior das longarinas.		
Proteção de pilares:			
<b>D - informação complementares</b>			
<b>E - Recomendações de terapia</b>			
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>			
Estrutural:	Excelente (5)	Funcional:	Boa (4)
Durabilidade:	Regular (3)		
<b>Justificativas</b>			
Funcional: Pontos danificados nas juntas de dilatação, sem provocar desconforto ao usuário.			
Durabilidade: Armadura exposta com corrosão incipiente (face inferior das longarinas).			

### FICHA DE CLASSIFICAÇÃO DA OAE (ABNT)

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Superestrutura	Mesoestrutura	Infraestrutura	Elementos Complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	5	5	5	5	5	5	5
Funcional	5	NA	NA	5	5	4	4
Durabilidade	3	4	4	5	4	5	3

## AVALIAÇÃO SEGUINDO A METODOLOGIA GDE/UnB:

Resultado do cálculo do  $G_d$  para a ponte reabilitada sobre o Rio Sapucaí Mirim:

Famílias	Fr	Gdf	K
Apoios	5	3,30	16,49
Vigas Principais	5	8,68	43,42
Transversinas	3	6,59	19,78
Vigas de Contraventamento	3	3,27	9,81
Lajes	4	17,03	68,13
Cortinas e Alas	3	7,22	21,66
Barreiras e Guarda-corpo	1	29,39	29,39
Pista de Rolamento	1	10,33	10,33
Juntas de Dilatação	2	13,06	26,13
Infraestrutura	4	4,81	19,24

K <sub>máx</sub> =	68,13
$\sum k$ =	264,39
<b>G<sub>d</sub>=</b>	<b>12,72</b>

### CLASSIFICAÇÃO DA OAE (GDE/UnB)

Nível de deterioração:	<b>Baixo (G<sub>d</sub> entre 0 e 15)</b>
Ações recomendadas:	Estado aceitável. Manutenção preventiva.

FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

OAE: Código: \_\_\_\_\_ Inspeção:  DNIT/Residência:  Outra Entidade: Estudante de Mestrado - Engenharia de Estruturas/UFMG  
 Nome: Ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim - Norte BR-381 / MG km: 856+315m UNIT: \_\_\_\_\_ RES: \_\_\_\_\_  
 Data: 28/07/2017

COMENTÁRIOS GERAIS

a) Condições de Estabilidade:  Boa  Sofrível  Precária Condições de Conservação:  Boa  Regular  Sofrível  Ruim

b) Nível de Vibração do Tabuleiro:  Normal  Intenso  Exagerado

c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária?  SIM  NÃO Urgente?  SIM  NÃO

Já houve alguma anteriormente?  SIM  NÃO

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS:

NOTA TÉCNICA
3

(Ponte Nova)

1. LAJE	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Buraco (abertura)	<input type="checkbox"/> Existe		
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração		
Marcas de Infiltração	<input type="checkbox"/> Forte		
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		

Nota Técnica:  É Iminente  Grande Incidência  Grande Incidência  Grande Incidência  Grande Incidência

Local: \_\_\_\_\_

Quantidade (Opcional): \_\_\_\_\_

Na face inferior dos balancos laterais, devido à percolação de água, fissuras já recuperadas, mas algumas apresentam falhas.  
 Nos balancos laterais da laje (falhas em drenos e pingadeiras).

2. VIGAMENTO PRINCIPAL	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Fissuras Finas	<input checked="" type="checkbox"/> Algumas		
Trincas (fissuras w>0,3mm)	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Armadura Principal	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Desagreg. De Concreto	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Dente Gerber	<input type="checkbox"/> Muito Intenso		
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Quebrado/ Desplacado		
Aspectos do Concreto	<input type="checkbox"/> Exagerada		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Má Qualidade <input checked="" type="checkbox"/> Ausente / Pouco		

Nota Técnica:  Grande Incidência  Grande Incidência  Muito Oxidada  Grande Incidência  Trincado

Local: \_\_\_\_\_

Quantidade (Opcional): \_\_\_\_\_

Fissuras já recuperadas, mas algumas apresentam falhas.  
 Pequenas manchas de eflorescência na face inferior da L2.  
 Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de paccometria.

## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
<b>3. MESOESTRUTURA</b>	<b>4</b>		
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	Corrosão de armadura pontual na viga de contraventamento P1-P2.	
Fissuras	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		
Aparelho de Apoio	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração		
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Danificado		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Má Qualidade	Manchas de infiltração em algumas vigas de contraventamento dos pilares.	
Desaprumo	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente/ Pouco	Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de pacometria.	
Deslocabilidade dos Pilares	<input type="checkbox"/> Há		
	<input type="checkbox"/> Forte		

	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
<b>4. INFRAESTRUTURA</b>	<b>4</b>		
Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Deslocamento de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Erosão Terreno de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Estacas Desenterradas	<input checked="" type="checkbox"/> Há	Verifica-se erosões nos encamamentos de concreto das estacas expostas.	

	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
<b>5. PISTA / ACESSO</b>	<b>3</b>		
Irregularidades no Pav.	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	Pequenas irregularidades no pavimento nos acessos da ponte.	
Junta de Dilatação	<input type="checkbox"/> Faltando / Inoperante	Obstruída pelo revestimento asfáltico. Material de vedação bastante deteriorado.	
Acessos x Ponte	<input type="checkbox"/> Degrau Acentuado	Pequeno degrau entre a pista de acesso e a ponte, devido a um leve assentamento.	
Acidentes com Veículos	<input type="checkbox"/> Freqüente	do aterro.	
	<input type="checkbox"/> Eventual		

ESQUEMAS

### FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA - ABNT

Inspeção Rotineira (ano):	2017	OAE Código:	
Jurisdicção (órgão, Concessão ou outros):	Concessão	Data da Inspeção:	28/07/2017
<b>PARTE 1 - Informações Gerais</b>			
<b>A - Identificação e localização</b>			
Via ou município:	BR-381/MG	Sentido:	Decrescente
Obra:	Ponte sobre o Rio Sapucaí Mirim - Norte (nova)	Localização (km ou endereço):	km: 856+315m
<b>B - Histórico das inspeções</b>			
Inicial:	2008	Última Rotineira:	2015
Especial:	-		
<b>C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>			
Reparos:			
Alargamento:			
Reforços:			
<b>PARTE II - Registro de manifestações patológicas</b>			
<b>A - Elementos Estruturais</b>			
Superestrutura:	Manchas de eflorescência na laje, fissuras nas vigas principais e lajes, concreto deteriorado.		
Mesoestrutura:	Corrosão de armadura pontual e manchas de infiltração em um viga de contraventamento.		
Infraestrutura:	Acúmulo de detritos e desgaste superficial do concreto no encamisamento das estacas.		
Aparelhos de apoio:			
Juntas de dilatação:	Obstrução com revestimento asfáltico e material de vedação deteriorado.		
Encontros:	Pequenas manchas de infiltração nas cortinas e leve degrau entre o tabuleiro e o terrapleno.		
Outros elementos:			
<b>B - Elementos da pista ou funcionais</b>			
Pavimento:	Pequenas irregularidades nas pistas de acesso.		
Acostamento e refúgio:			
Drenagem:	Falha no funcionamento de drenos e pingadeiras nos balanços laterais da laje.		
Guarda-corpos:			
Barreiras rígidas/Defensas metálicas:	Manchas escuras nas barreiras devido ao acúmulo de fuligem.		
<b>C - Outros elementos</b>			
Taludes:			
Iluminação:			
Sinalização:			
Gabaritos:	Retorno clandestino sob a ponte, em local com limitação de altura.		
Proteção de pilares:			
<b>D - informação complementares</b>			
<b>E - Recomendações de terapia</b>			
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>			
Estrutural:	Regular (3)	Funcional:	Regular (3)
Durabilidade:	Boa (4)		
<b>Justificativas</b>			
Estrutural: Desnível na transição terrapleno x tabuleiro, gerando acréscimo no impacto da carga acidental; Fissuras em elementos de concreto armado com abertura dentro dos limites previstos na norma. (lajes, longarinas)			
Funcional: Berço danificado nas juntas de dilatação, gerando pequeno desconforto ao usuário; Desníveis no pavimento, na transição terrapleno x tabuleiro e juntas de dilatação, causando solavancos.			
Durabilidade: Obras com deficiência de cobrimento sem armadura exposta (pilares, longarinas, vigas sec., cortina); Armadura exposta com corrosão incipiente (Viga de contraventamento); Infiltração de água na face inferior da laje e nas cortinas.			

### FICHA DE CLASSIFICAÇÃO DA OAE (ABNT)

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Superestrutura	Mesoestrutura	Infraestrutura	Elementos Complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	3	4	5	5	3	5	3
Funcional	5	NA	NA	5	3	3	3
Durabilidade	4	4	5	5	4	5	4

## AVALIAÇÃO SEGUINDO A METODOLOGIA GDE/UnB:

Resultado do cálculo do  $G_d$  para a ponte nova sobre o Rio Sapucaí Mirim:

Famílias	Fr	Gdf	K
Apoios	5	3,32	16,61
Vigas Principais	5	5,85	29,27
Transversinas	3	4,93	14,80
Vigas de Contraventamento	3	14,77	44,31
Lajes	4	11,05	44,19
Cortinas e Alas	3	7,22	21,66
Barreiras e Guarda-corpo	1	29,39	29,39
Pista de Rolamento	1	14,20	14,20
Juntas de Dilatação	2	54,07	108,14
Infraestrutura	4	5,88	23,52

K <sub>máx</sub> =	108,14
$\sum k$ =	346,10
<b>G<sub>d</sub>=</b>	<b>19,87</b>

### CLASSIFICAÇÃO DA OAE (GDE/UnB)

Nível de deterioração:	<b>Médio (G<sub>d</sub> entre 15 e 50)</b>
Ações recomendadas:	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos)



## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

**3. MESOESTRUTURA**

**Nota Técnica:**  **Quantidade (Opcional)**

**Local**

Devido ao deslocamento no topo do pilar P1 e na viga de contraventamento VC2.

Penda relevante da seção do concreto do reforço no topo do pilar P1.

Trincas verticais no topo de P2 e P4 devido a concentração de tensões.

Problemas no posicionamento e deformação em alguns dispositivos.

Desagregação do concreto do reforço no topo do pilar P1.

Muito Oxidada  
 Muita Intensidade  
 Forte Infiltração  
 Danificado  
 Má Qualidade  
 Ausente/ Pouco  
 Há  
 Forte

Armadura Exposta

Concreto Desagregado

Fissuras

Aparelho de Apoio

Aspecto do Concreto

Cobrimento

Desaprumo

Deslocabilidade dos Pilares

**4. INFRAESTRUTURA**

**Nota Técnica:**  **Quantidade (Opcional)**

**Local**

Ausência de proteção vegetal nos dois taludes e alguns pontos de erosão.

Há  
 Há  
 Há  
 Há

Recalque de Fundação

Deslocamento de Fundação

Erosão Terreno de Fundação

Estacas Desenterradas

**5. PISTA / ACESSO**

**Nota Técnica**  **Quantidade (Opcional)**

**Local**

Buracos e remendos sobre as juntas de dilatação.

Totalmente obstruídas pelo revest. Asfáltico.

Muita Intensidade  
 Grande Extensão  
 Faltando / Inoperante  
 Muito Problemática  
 Degrau Acentuado  
 Concordância Problem.  
 Frequente  
 Eventual

Irregularidades no Pav.

Junta de Dilatação

Acessos x Ponte

Acidentes com Veículos

ESQUEMAS

**FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA - ABNT**

Inspeção Rotineira (ano): 2017	OAE Código:
Jurisdição (órgão, Concessão ou outros): Concessão	Data da Inspeção: 27/12/2017
<b>PARTE 1 - Informações Gerais</b>	
<b>A - Identificação e localização</b>	
Via ou município: BR-262/MG	Sentido: Crescente
Obra: Ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme-Oeste (reabilitada)	Localização (km ou endereço): km: 369+500m
<b>B - Histórico das inspeções</b>	
Inicial: 2014	Última Rotineira: 2016
Especial: -	
<b>C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>	
Reparos: Reabilitação concluída em 2011.	
Alargamento: Alargamento do tabuleiro sem adição de novos apoios e vigas, apenas com CA convencional.	
Reforços: Reforço com aumento de seção transversal da laje, vigas principais, pilares e tubulões.	
<b>PARTE II - Registro de manifestações patológicas</b>	
<b>A - Elementos Estruturais</b>	
Superestrutura: Manchas de infiltração de água e eflorescência na laje, fissuras no concreto do reforço e falhas de concretagem com armadura exposta nas longarinas.	
Mesoestrutura: Sinais de esmagamento no topo dos pilares devido à concentração de esforços.	
Infraestrutura:	
Aparelhos de apoio: Deformação das placas de neopreme fretado, devido ao seu posicionamento inadequado.	
Juntas de dilatação: Obstruídas pelo revestimento asfáltico, desgaste do material de vedação e umidade.	
Encontros: Cobrimento deficiente, corrosão de armadura e falha de concretagem pontuais nas cortinas.	
Outros elementos:	
<b>B - Elementos da pista ou funcionais</b>	
Pavimento: Buracos e remendos sobre as juntas de dilatação.	
Acostamento e refúgio:	
Drenagem: Falha no funcionamento de drenos e pingadeira nos balanços laterais da laje.	
Guarda-corpos: Algumas fissuras decorrentes de corrosão de armadura e falhas de concretagem pontual.	
Barreiras rígidas/Defensas metálicas: Manchas escuras e deslocamento pontuais.	
<b>C - Outros elementos</b>	
Taludes: Ausência de proteção vegetal e erosão nos taludes abaixo das cortinas.	
Iluminação:	
Sinalização:	
Gabaritos: Estreitamento da pista devido à criação de uma passarela no local onde seria o acostamento.	
Proteção de pilares:	
<b>D - informação complementares</b>	
<b>E - Recomendações de terapia</b>	
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>	
Estrutural: Regular (3)	Funcional: Boa (4)
Durabilidade: Regular (3)	
<b>Justificativas</b>	
<b>Estrutural:</b> Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico; Aparelho de apoio mau posicionado e deformado; Deslocamento do reforço no topo de um pilar; Taludes de encontro com erosão.	
<b>Funcional:</b> Estreitamento de pista.	
<b>Durabilidade:</b> Deslocamento do reforço no topo de um pilar; Obra com deficiência de cobertura sem armadura exposta; Infiltração de água na face inferior da laje e nas cortinas; Erosão nos taludes da pista nos dois lados da ponte; Corrosão de armadura no guarda-corpo.	

**Ficha de Classificação da OAE**

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Superestrutura	Mesoestrutura	Infraestrutura	Elementos Complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	4	3	4	5	4	5	3
Funcional	5	NA	NA	5	5	4	4
Durabilidade	4	3	3	4	4	5	3

## AVALIAÇÃO SEGUINDO A METODOLOGIA GDE/UnB:

Resultado do cálculo do  $G_d$  para a ponte reabilitada sobre o Ribeirão Mateus Leme:

Famílias	Fr	Gdf	K
Apoios	5	51,06	255,31
Vigas Principais	5	8,68	43,42
Transversinas	3	3,25	9,75
Vigas de Contraventamento	3	4,00	12,00
Lajes	4	10,27	41,07
Cortinas e Alas	3	12,63	37,90
Barreiras e Guarda-corpo	1	11,67	11,67
Pista de Rolamento	1	7,65	7,65
Juntas de Dilatação	2	62,76	125,51
Infraestrutura	4	0,00	0,00

Kmáx=	255,31
$\sum k=$	544,28
<b>Gd=</b>	<b>44,68</b>

### CLASSIFICAÇÃO DA OAE (GDE/UnB)

Nível de deterioração:	<b>Médio (Gd entre 15 e 50)</b>
Ações recomendadas:	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos)



## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA

3. MESOESTRUTURA	Nota Técnica: <input type="text" value="4"/>	Local	Quantidade (Opcional)
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	_____	_____
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	_____	_____
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração	_____	_____
Aparelho de Apoio	<input type="checkbox"/> Danificado	_____	_____
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade	_____	_____
Cobrimento	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente/ Pouco	Manchas e eflorescências causadas por infiltração nos encontros.	_____
Desaprumo	<input type="checkbox"/> Há	Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de Pacometria.	_____
Deslocabilidade dos Pilares	<input type="checkbox"/> Forte	_____	_____

4. INFRAESTRUTURA	Nota Técnica: <input type="text" value="4"/>	Local	Quantidade (Opcional)
Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Deslocamento de Fundação	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Erosão Terreno de Fundação	<input checked="" type="checkbox"/> Há	Ausência de proteção vegetal nos dois taludes e alguns pontos de erosão.	_____
Estacas Desenterradas	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____

5. PISTA / ACESSO	Nota Técnica <input type="text" value="4"/>	Local	Quantidade (Opcional)
Irregularidades no Pav.	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	_____	_____
Junta de Dilatação	<input type="checkbox"/> Faltando / Inoperante	Ondulações na entrada da ponte.	_____
Acessos x Ponte	<input checked="" type="checkbox"/> Muito Problemática	Totalmente obstruídas pelo revest. Asfáltico.	_____
Acidentes com Veículos	<input type="checkbox"/> Grau Acentuado	_____	_____
	<input type="checkbox"/> Frequente	_____	_____
	<input type="checkbox"/> Eventual	_____	_____

ESQUEMAS

**FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA - ABNT**

Inspeção Rotineira (ano):	2017	OAE Código:	
Jurisdição (órgão, Concessão ou outros):	Concessão	Data da Inspeção:	27/12/2017
<b>PARTE 1 - Informações Gerais</b>			
<b>A - Identificação e localização</b>			
Via ou município:	BR-262/MG	Sentido:	Decrescente
Obra:	Ponte sobre o Ribeirão Mateus Leme - Leste (nova)	Localização (km ou endereço):	km: 369+500m
<b>B - Histórico das inspeções</b>			
Inicial:	2014	Última Rotineira:	2016
Especial:	-		
<b>C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>			
Reparos:			
Alargamento:			
Reforços:			
<b>PARTE II - Registro de manifestações patológicas</b>			
<b>A - Elementos Estruturais</b>			
Superestrutura:	Manchas de infiltração, fissuras de flexão com abertura máxima de 0,3 mm e cobrimento deficiente nas longarinas, deslocamento do concreto e armadura exposta e corroída na extremidade da laje devido à restrição provocada pela obstrução da junta de dilatação.		
Mesoestrutura:	Umidade excessiva, manchas e eflorescência nos encontros, cobrimento deficiente em alguns pilares.		
Infraestrutura:			
Aparelhos de apoio:	Detritos e umidade ao redor dos aparelhos de apoio nos encontros.		
Juntas de dilatação:	Obstruídas pelo revestimento asfáltico, desgaste do material de vedação e umidade.		
Encontros:	Umidade excessiva, manchas e eflorescência.		
Outros elementos:			
<b>B - Elementos da pista ou funcionais</b>			
Pavimento:	Pequenas ondulações no pavimento na entrada da ponte.		
Acostamento e refúgio:			
Drenagem:	Falha no funcionamento de drenos e ausência de pingadeira nos balanços laterais da laje.		
Guarda-corpos:	Algumas fissuras decorrentes de corrosão de armadura e falhas de concretagem pontual.		
Barreiras rígidas/Defensas metálicas:	Manchas escuras e deslocamento pontuais.		
<b>C - Outros elementos</b>			
Taludes:	Ausência de proteção vegetal e erosão no talude abaixo dos encontros.		
Iluminação:			
Sinalização:			
Gabaritos:	Estreitamento da pista devido à criação de uma passarela no local onde seria o acostamento.		
Proteção de pilares:			
<b>D - informação complementares</b>			
<b>E - Recomendações de terapia</b>			
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>			
Estrutural:	Boa (4)	Funcional:	Boa (4)
Durabilidade:	Regular (3)		
<b>Justificativas</b>			
<b>Estrutural:</b> Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico; Corrosão de armadura na extremidade da laje; Taludes de encontro com erosão.			
<b>Funcional:</b> Estreitamento de pista.			
<b>Durabilidade:</b> Obra com deficiência de cobrimento sem armadura exposta; Infiltração de água na face inferior da laje e nos encontros; Deslocamento e corrosão de armadura na extremidade da laje; Erosão nos taludes da pista nos dois lados da ponte; Corrosão de armadura nos guarda-corpos.			

**Ficha de Classificação da OAE**

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Superestrutura	Mesoestrutura	Infraestrutura	Elementos Complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	4	5	4	5	4	5	4
Funcional	5	NA	NA	5	5	4	4
Durabilidade	3	4	3	4	4	5	3

## AVALIAÇÃO SEGUINDO A METODOLOGIA GDE/UnB:

Resultado do cálculo do  $G_d$  para a ponte nova sobre o Ribeirão Mateus Leme:

Famílias	Fr	Gdf	K
Apoios	5	26,28	131,39
Vigas Principais	5	8,43	42,14
Travessas	5	0,00	0,00
Transversinas	3	2,40	7,20
Vigas de Contraventamento	3	6,40	19,20
Lajes	4	14,52	58,07
Cortinas e Alas	3	8,52	25,56
Barreiras e Guarda-corpo	1	11,73	11,73
Pista de Rolamento	1	9,80	9,80
Juntas de Dilatação	2	62,99	125,97
Infraestrutura	4	0,00	0,00

K <sub>máx</sub> =	131,39
$\sum k$ =	431,05
<b>G<sub>d</sub>=</b>	<b>24,20</b>

### CLASSIFICAÇÃO DA OAE (GDE/UnB)

Nível de deterioração:	<b>Médio (G<sub>d</sub> entre 15 e 50)</b>
Ações recomendadas:	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos)

# APÊNDICE C - FICHAS DE INSPEÇÃO DAS PONTES SOBRE O RIO PARAPEBA

## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

OAE: Código: 262-OAE-0002    Nome: Ponte sobre o Rio Paraopeba - Leste    BR-262 / MG    km: 360+850m    UNIT:    RES: \_\_\_\_\_  
 Data: 18/04/2017    Inspeção:  DNIT/Residência:  Outra Entidade: Estudante de Mestrado - Engenharia de Estruturas/UFMG

**COMENTÁRIOS GERAIS**

a) Condições de Estabilidade: <input checked="" type="checkbox"/> Boa <input type="checkbox"/> Sofrível <input type="checkbox"/> Precária    Condições de Conservação: <input type="checkbox"/> Boa <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Sofrível <input type="checkbox"/> Ruim b) Nivel de Vibração do Tabuleiro: <input checked="" type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Intenso <input type="checkbox"/> Exagerado c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO    Urgente? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO Já houve alguma anteriormente? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>NOTA TÉCNICA</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 10px; font-size: 24px;">4</td> </tr> </table>	<b>NOTA TÉCNICA</b>	4
<b>NOTA TÉCNICA</b>			
4			

(Ponte reabilitada)

	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
1. LAJE	4		
Buraco (abertura)	<input type="checkbox"/> Existe		
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		Vãos 1 e 4.
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração		
Marcas de Infiltração	<input type="checkbox"/> Forte		Vãos 1, 2 e 4 e nos balancos laterais.
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente / Pouco		Cobrimento insuficiente verificado na pacometria e visível no Vão 01.

	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
2. VIGAMENTO PRINCIPAL	4		
Fissuras Finas	<input type="checkbox"/> Algumas		
Trincas (fissuras w>0,3mm)	<input type="checkbox"/> Algumas		
Armadura Principal	<input checked="" type="checkbox"/> Exposta		Armadura exposta sobre o P2.
Desagreg. De Concreto	<input type="checkbox"/> Muito Intenso		
Dente Gerber	<input type="checkbox"/> Quebrado/ Desplacado		
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Exagerada		
Aspectos do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		

## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

	Nota Técnica: <input type="text" value="4"/>	Local	Quantidade (Opcional)
<b>3. MESOESTRUTURA</b>			
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração	P5, P6 e P7, devido falha de concretagem.	
Aparelho de Apoio	<input type="checkbox"/> Danificado		
Aspecto do Concreto	<input checked="" type="checkbox"/> Má Qualidade	Falha de concretagem P5, P6, P7.	
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente/ Pouco		
Desaprumo	<input type="checkbox"/> Há		
Deslocabilidade dos Pilares	<input type="checkbox"/> Forte		

	Nota Técnica: <input type="text" value="4"/>	Local	Quantidade (Opcional)
<b>4. INFRAESTRUTURA</b>			
Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Deslocamento de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Erosão Terreno de Fundação	<input checked="" type="checkbox"/> Há	P9, P10 e Cortinas 1 e 2.	
Estacas Desenterradas	<input checked="" type="checkbox"/> Há	Estacas dos blocos de P5, P6, P7 e P8.	

	Nota Técnica: <input type="text" value="4"/>	Local	Quantidade (Opcional)
<b>5. PISTA / ACESSO</b>			
Irregularidades no Pav.	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	Trilhas de roda nos 2 acessos da ponte.	
Junta de Dilatação	<input type="checkbox"/> Faltando / Inoperante	Totalmente obstruídas pelo revest. Asfáltico.	
Acessos x Ponte	<input type="checkbox"/> Degrau Acentuado	Leve degrau na saída da ponte (Cortina1)	
Acidentes com Veículos	<input type="checkbox"/> Frequente		
	<input type="checkbox"/> Eventual		

ESQUEMAS

### FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA - ABNT

Inspeção Rotineira (ano):	2017	OAE Código:	
Jurisdicção (órgão, Concessão ou outros):	Concessão	Data da Inspeção:	18/04/2017
<b>PARTE 1 - Informações Gerais</b>			
<b>A - Identificação e localização</b>			
Via ou município:	BR-262/MG	Sentido:	Decrescente
Obra:	Ponte sobre o Rio Paraopeba - Leste (reabilitada)	Localização (km ou endereço):	km: 360+850m
<b>B - Histórico das inspeções</b>			
Inicial:	2014	Última Rotineira:	2016
Especial:	-		
<b>C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>			
Reparos:	Reabilitação concluída em 2011.		
Alargamento:	Alargamento do tabuleiro sem adição de novos apoios e vigas, apenas com CA convencional.		
Reforços:	Reforço com aumento de seção transversal da laje, vigas principais e pilares. Estaca tipo raiz.		
<b>PARTE II - Registro de manifestações patológicas</b>			
<b>A - Elementos Estruturais</b>			
Superestrutura:	Corrosão de armadura pontual na laje, longarinas e transversinas, eflorescência e infiltração de água, falha de concretagem e cobertura insuficiente na laje.		
Mesoestrutura:	Falha de concretagem e fissuras pontuais em alguns pilares.		
Infraestrutura:	Estacas do reforço da fundação desenterradas.		
Aparelhos de apoio:			
Juntas de dilatação:	Obstruídas pelo revestimento asfáltico, desgaste do material de vedação e umidade.		
Encontros:	Cobertura deficiente, corrosão de armadura, falha de concretagem, infiltração de água, manchas e eflorescência nas cortinas, leve degrau na saída da ponte.		
Outros elementos:			
<b>B - Elementos da pista ou funcionais</b>			
Pavimento:	Pequenos desgastes superficiais no pavimento, trilhas de roda nos acessos.		
Acostamento e refúgio:			
Drenagem:	Falha no funcionamento de drenos e pingadeira nos balanços laterais da laje.		
Guarda-corpos:	Pontos de corrosão de armadura, fissuras, deslocamento e manchas.		
Barreiras rígidas/Defensas metálicas:	Pontos de corrosão de armadura, fissuras, deslocamento e manchas.		
<b>C - Outros elementos</b>			
Taludes:	Erosão no talude abaixo das cortinas.		
Iluminação:			
Sinalização:	Sinalização horizontal desgastada no zebrado sobre a ponte.		
Gabaritos:	Estreitamento da pista devido à criação de uma passarela no local onde seria o acostamento.		
Proteção de pilares:			
<b>D - informação complementares</b>			
<b>E - Recomendações de terapia</b>			
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>			
Estrutural:	Boa (4)	Funcional:	Boa (4)
Durabilidade:	Regular (3)		
<b>Justificativas</b>			
<b>Estrutural:</b> Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico; Armadura exposta na face inferior da laje; Taludes de encontro com erosão.			
<b>Funcional:</b> Estreitamento de pista.			
<b>Durabilidade:</b> Obra com deficiência de cobertura sem armadura exposta; Infiltração de água na face inferior da laje e nas cortinas; Erosão nos taludes da pista nos dois lados da ponte; Corrosão de armadura nos guarda-corpos e barreiras de segurança.			

#### Ficha de Classificação da OAE

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Superestrutura	Mesoestrutura	Infraestrutura	Elementos Complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	4	5	4	5	4	5	4
Funcional	5	NA	NA	5	5	4	4
Durabilidade	4	5	3	4	4	5	3

## AVALIAÇÃO SEGUINDO A METODOLOGIA GDE/UnB:

Resultado do cálculo do  $G_d$  para a ponte reabilitada sobre o Rio Paraopeba:

Famílias	Fr	Gdf	K
Apoios	5	8,26	41,31
Vigas Principais	5	9,33	46,67
Transversinas	3	11,20	33,61
Vigas de Contraventamento	3	3,10	9,30
Lajes	4	44,04	176,17
Cortinas e Alas	3	17,47	52,40
Barreiras e Guarda-corpo	1	54,08	54,08
Pista de Rolamento	1	14,83	14,83
Juntas de Dilatação	2	62,99	125,97
Infraestrutura	4	0,00	0,00

K <sub>máx</sub> =	176,17
$\sum k$ =	554,34
<b>G<sub>d</sub></b> =	<b>32,32</b>

### CLASSIFICAÇÃO DA OAE (GDE/UnB)

Nível de deterioração:	<b>Médio (G<sub>d</sub> entre 15 e 50)</b>
Ações recomendadas:	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos)

FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

OAE: Código: 262-OAE-0002 Nome: Ponte sobre o Rio Paraopeba - Oeste BR-262 / MG km: 360+850m UNIT: RES:   
 Data: 18/04/2017 Inspeção:  DNIT/Residência:  Outra Entidade: Estudante de Mestrado - Engenharia de Estruturas/UFMG

COMENTÁRIOS GERAIS

- a) Condições de Estabilidade:  Boa  Sofrível  Precária Condições de Conservação:  Boa  Regular  Sofrível  Ruim
- b) Nível de Vibração do Tabuleiro:  Normal  Intenso  Exagerado
- c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária?  SIM  NÃO Urgente?  SIM  NÃO
- Já houve alguma anteriormente?  SIM  NÃO
- OBSERVAÇÕES ADICIONAIS:

NOTA TÉCNICA	4
--------------	---

(Ponte Nova)

1. LAJE	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Buraco (abertura)	<input type="checkbox"/> É Iminente		
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Existe		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Fissuras	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		
Marcas de Infiltração	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração	Vãos 2 e 4 e balancos laterais	
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Forte		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente / Pouco		
			Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de Pacometria.

2. VIGAMENTO PRINCIPAL	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Fissuras Finas	<input type="checkbox"/> Algumas		
Trincas (fissuras w>0,3mm)	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Armadura Principal	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Desagreg. De Concreto	<input checked="" type="checkbox"/> Exposta	Mesa superior das longarinas 3 e 4	
Dente Gerber	<input type="checkbox"/> Muito Intenso		
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Quebrado/ Desplacado		
Aspectos do Concreto	<input type="checkbox"/> Exagerada		
Cobrimento	<input checked="" type="checkbox"/> Má Qualidade		
	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente / Pouco		
			Falha de concretagem longarinas 2 e 4
			Eflorescência causada por infiltração nas longarinas 1 e 4
			Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de Pacometria.

FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA

**3. MESOESTRUTURA**

**Nota Técnica:**  **Quantidade (Opcional)**

Armadura Exposta	<input checked="" type="checkbox"/> Muito Oxidada	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	<u>Corrosão no E2 e armadura exposta no P6.</u>	<input type="text"/>
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		<input type="text"/>
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	<u>Trincas nas paredes dos encontros.</u>	<input type="text"/>
Aparelho de Apoio	<input type="checkbox"/> Danificado	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		<input type="text"/>
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade			<input type="text"/>
Cobrimento	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente/ Pouco		<u>Encontro 2 e pilar 6, também verificado no ensaio de pacometria.</u>	<input type="text"/>
Desaprumo	<input type="checkbox"/> Há			<input type="text"/>
Deslocabilidade dos Pilares	<input type="checkbox"/> Forte			<input type="text"/>

**4. INFRAESTRUTURA**

**Nota Técnica:**  **Quantidade (Opcional)**

Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há	<input type="text"/>
Deslocamento de Fundação	<input type="checkbox"/> Há	<input type="text"/>
Erosão Terreno de Fundação	<input checked="" type="checkbox"/> Há	<u>Encontros 1 e 2.</u>
Estacas Desenterradas	<input type="checkbox"/> Há	<input type="text"/>

**5. PISTA / ACESSO**

**Nota Técnica:**  **Quantidade (Opcional)**

Irregularidades no Pav.	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Extensão	<u>Trilhas de roda nos 2 acessos da ponte.</u>
Junta de Dilatação	<input type="checkbox"/> Faltando / Inoperante	<input checked="" type="checkbox"/> Muito Problemática	<u>Totalmente obstruídas pelo revest. Asfáltico.</u>
Acessos x Ponte	<input type="checkbox"/> Degrau Acentuado	<input type="checkbox"/> Concordância Problem.	<u>Leve degrau no acesso da ponte (E1)</u>
Acidentes com Veículos	<input type="checkbox"/> Frequente	<input type="checkbox"/> Eventual	<input type="text"/>

ESQUEMAS

### FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA - ABNT

Inspeção Rotineira (ano):	2017	OAE Código:	
Jurisdição (órgão, Concessão ou outros):	Concessão	Data da Inspeção:	18/04/2017
<b>PARTE 1 - Informações Gerais</b>			
<b>A - Identificação e localização</b>			
Via ou município:	BR-262/MG	Sentido:	Crescente
Obra:	Ponte sobre o Rio Paraopeba - Oeste (nova)	Localização (km ou endereço):	km: 360+850m
<b>B - Histórico das inspeções</b>			
Inicial:	2014	Última Rotineira:	2016
Especial:	-		
<b>C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>			
Reparos:			
Alargamento:			
Reforços:			
<b>PARTE II - Registro de manifestações patológicas</b>			
<b>A - Elementos Estruturais</b>			
Superestrutura:	Infiltração de água, eflorescência, desagregação, falha de concretagem e cobertura deficiente nas longarinas, infiltração de água e biodeterioração na laje.		
Mesoestrutura:	Umidade excessiva, manchas, eflorescência, corrosão de armadura, trincas e deslocamento nos encontros, falha de concretagem e cobertura deficiente em alguns pilares.		
Infraestrutura:	Umidade excessiva nos tubulões dos encontros.		
Aparelhos de apoio:			
Juntas de dilatação:	Obstruídas pelo revestimento asfáltico, desgaste do material de vedação e umidade.		
Encontros:	Diversos danos nos encontros, manchas de infiltração nas alas e pequeno desnível no acesso.		
Outros elementos:			
<b>B - Elementos da pista ou funcionais</b>			
Pavimento:	Pequenos desgastes superficiais no pavimento, trilhas de roda nos acessos.		
Acostamento e refúgio:			
Drenagem:	Falha no funcionamento de drenos e ausência de pingadeira nos balanços laterais da laje.		
Guarda-corpos:	Falhas de concretagem, pontos de corrosão de armadura, fissuras, deslocamento e manchas.		
Barreiras rígidas/Defensas metálicas:	Pontos de corrosão de armadura, fissuras, deslocamento e manchas.		
<b>C - Outros elementos</b>			
Taludes:	Erosão no talude abaixo dos encontros.		
Iluminação:			
Sinalização:	Sinalização horizontal desgastada no zebrado sobre a ponte.		
Gabaritos:	Estreitamento da pista devido à criação de uma passarela no local onde seria o acostamento.		
Proteção de pilares:			
<b>D - informação complementares</b>			
<b>E - Recomendações de terapia</b>			
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>			
Estrutural:	Regular (3)	Funcional:	Boa (4)
Durabilidade:	Regular (3)		
<b>Justificativas</b>			
<b>Estrutural:</b> Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico; Fissura nas paredes dos encontros, com abertura superior aos limites da norma ABNT NBR 6118:2014; Taludes de encontro com erosão.			
<b>Funcional:</b> Estreitamento de pista.			
<b>Durabilidade:</b> Obra com deficiência de cobertura sem armadura exposta; Fissura nas paredes dos encontros; Infiltração de água na face inferior da laje e nos encontros; Erosão nos taludes da pista nos dois lados da ponte; Corrosão de armadura nos guarda-corpos e barreiras de segurança.			

#### Ficha de Classificação da OAE

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Superestrutura	Mesoestrutura	Infraestrutura	Elementos Complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	4	3	4	5	3	5	3
Funcional	5	NA	NA	5	5	4	4
Durabilidade	4	3	3	4	3	5	3

## AVALIAÇÃO SEGUINDO A METODOLOGIA GDE/UnB:

Resultado do cálculo do  $G_d$  para a ponte nova sobre o Rio Paraopeba:

Famílias	Fr	Gdf	K
Apoios	5	35,53	177,66
Vigas Principais	5	9,94	49,70
Travessas	5	0,00	0,00
Transversinas	3	1,96	5,88
Vigas de Contraventamento	3	0,00	0,00
Lajes	4	6,20	24,79
Cortinas e Alas	3	9,30	27,89
Barreiras e Guarda-corpo	1	62,41	62,41
Pista de Rolamento	1	15,66	15,66
Juntas de Dilatação	2	62,99	125,97
Infraestrutura	4	2,40	9,60

K <sub>máx</sub> =	177,66
$\sum k$ =	499,56
<b>G<sub>d</sub></b> =	<b>32,22</b>

### CLASSIFICAÇÃO DA OAE (GDE/UnB)

Nível de deterioração:	<b>Médio (G<sub>d</sub> entre 15 e 50)</b>
Ações recomendadas:	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos)



FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

3. MESOESTRUTURA	Nota Técnica: <b>4</b>	Local	Quantidade (Opcional)
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Fissuras	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		
Aparelho de Apoio	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração		
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Danificado		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Desaprumo	<input type="checkbox"/> Ausente/ Pouco		
Deslocabilidade dos Pilares	<input type="checkbox"/> Há		
	<input type="checkbox"/> Forte		
		<u>Falhas de concretagem pontuais nos pilares P1 e P15.</u>	
		<u>Manchas de infiltração na viga de contravento dos pilares P11 e P12.</u>	

4. INFRAESTRUTURA	Nota Técnica: <b>2</b>	Local	Quantidade (Opcional)
Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Deslocamento de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Erosão Terreno de Fundação	<input checked="" type="checkbox"/> Há		
Estacas Desenterradas	<input checked="" type="checkbox"/> Há		
		<u>Desagregação do concreto no topo das estacas raiz, c/ armadura exposta.</u>	

5. PISTA / ACESSO	Nota Técnica <b>3</b>	Local	Quantidade (Opcional)
Irregularidades no Pav.	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		
Junta de Dilatação	<input type="checkbox"/> Faltando / Inoperante		
Acessos x Ponte	<input checked="" type="checkbox"/> Muito Problemática		
Acidentes com Veículos	<input type="checkbox"/> Degrau Acentuado		
	<input type="checkbox"/> Frequente		
	<input type="checkbox"/> Eventual		
		<u>Pequenas irregularidades no pavimento nos acessos da ponte.</u>	
		<u>Totalmente obstruída pelo revest. asfáltico nas três juntas de dilatação.</u>	
		<u>Assentamento do aterro nos acessos, afundamento das alas e da cortina no lado BH, com esmagamento do concreto da laje e da cortina 1.</u>	

ESQUEMAS

## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA - ABNT

Inspeção Rotineira (ano): 2017	OAE Código:
Jurisdição (órgão, Concessão ou outros): Concessão	Data da Inspeção: 07/06/2017
<b>PARTE I - Informações Gerais</b>	
<b>A - Identificação e localização</b>	
Via ou município: BR-262/MG	Sentido: Decrescente
Obra: Ponte sobre o Rio Pará - Leste (reabilitada)	Localização (km ou endereço): km: 431+100m
<b>B - Histórico das inspeções</b>	
Inicial: 2014	Última Rotineira: 2016
Especial: -	
<b>C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>	
Reparos: Reabilitação concluída em 2011.	
Alargamento: Alargamento do tabuleiro sem adição de novos apoios e vigas, apenas com CA convencional.	
Reforços: Reforço com aumento de seção transversal da laje, vigas principais e pilares. Estaca tipo raiz.	
<b>PARTE II - Registro de manifestações patológicas</b>	
<b>A - Elementos Estruturais</b>	
Superestrutura: Falhas de concretagem pontuais na laje e longarinas, ruptura da laje na extremidade do balanço 1, devido ao afundamento da cortina, com deslocamento exposição de armadura.	
Mesoestrutura: Falhas de concretagem pontuais em pilares e infiltração em vigas de contraventamento de pilares, devido a falha na vedação das juntas de dilatação.	
Infraestrutura: Falha no reforço, com perda de seção transversal no topo das estacas raiz e armadura exposta.	
Aparelhos de apoio:	
Juntas de dilatação: Obstruídas pelo revestimento asfáltico, desgaste do material de vedação.	
Encontros: Assentamento do aterro nos acessos, afundamento das alas e da cortina no lado BH.	
Outros elementos:	
<b>B - Elementos da pista ou funcionais</b>	
Pavimento: Pequenas irregularidades no pavimento e remendo no encabeçamento da ponte.	
Acostamento e refúgio:	
Drenagem: Falha no funcionamento de drenos e pingadeira nos balanços laterais da laje.	
Guarda-corpos: Pontos de corrosão de armadura e deslocamentos.	
Barreiras rígidas/Defensas metálicas: Pontos de corrosão de armadura, deslocamentos e manchas.	
<b>C - Outros elementos</b>	
Taludes: Erosão nos taludes.	
Iluminação:	
Sinalização:	
Gabaritos: Estreitamento da pista devido à criação de uma passarela no local onde seria o acostamento.	
Proteção de pilares:	
<b>D - informação complementares</b>	
<b>E - Recomendações de terapia</b>	
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>	
Estrutural: Ruim (2)	Funcional: Regular (3)
Durabilidade: Ruim (2)	
<b>Justificativas</b>	
<b>Estrutural:</b> Fissuras em elementos de concreto armado com abertura superior aos limites previstos (laje e cortina); Concreto segregado em regiões sujeitas a tensões de compressão (estacas raiz).	
<b>Funcional:</b> Estreitamento de pista; Dispositivos de segurança com pontos danificados.	
<b>Durabilidade:</b> Quadro de fissuração inaceitável na laje e cortina; Armadura exposta em processo evolutivo de corrosão (laje, cortina); Concreto segregado em regiões sujeitas a tensões de compressão (estacas raiz); Taludes de encontro com erosão localizada; Infiltração de água na face inferior da laje e cortinas.	

## Ficha de Classificação da OAE (ABNT)

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Superestrutura	Mesoestrutura	Infraestrutura	Elementos Complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	3	5	2	5	3	5	2
Funcional	5	NA	NA	3	5	4	3
Durabilidade	2	5	2	4	3	5	2

## AVALIAÇÃO SEGUINDO A METODOLOGIA GDE/UnB:

Resultado do cálculo do  $G_d$  para a ponte reabilitada sobre o Rio Pará:

Famílias	Fr	Gdf	K
Apoios	5	2,94	14,70
Vigas Principais	5	3,70	18,48
Transversinas	3	15,92	47,77
Vigas de Contraventamento	3	19,69	59,08
Lajes	4	39,87	159,48
Cortinas e Alas	3	131,09	393,28
Barreiras e Guarda-corpo	1	76,14	76,14
Pista de Rolamento	1	7,65	7,65
Juntas de Dilatação	2	66,39	132,79
Infraestrutura	4	117,58	470,32

K <sub>máx</sub> =	470,32
$\sum k$ =	1379,67
<b>G<sub>d</sub>=</b>	<b>85,69</b>

### CLASSIFICAÇÃO DA OAE (GDE/UnB)

Nível de deterioração:	<b>Sofrível (G<sub>d</sub> entre 80 e 100)</b>
Ações recomendadas:	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses)

## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

OAE: Código: \_\_\_\_\_ Nome: Ponte sobre o Rio Pará - Oeste BR-262 / MG km: 431+100m UNIT: \_\_\_\_\_ RES: \_\_\_\_\_  
 Data: 07/06/2017 Inspeção:  DNIT/Residência:  Outra Entidade: Estudante de Mestrado - Engenharia de Estruturas/UFMG

## COMENTÁRIOS GERAIS

- a) Condições de Estabilidade:  Boa  Sofrível  Precária Condições de Conservação:  Boa  Regular  Sofrível  Ruim
- b) Nível de Vibração do Tabuleiro:  Normal  Intenso  Exagerado
- c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária?  SIM  NÃO Urgente?  SIM  NÃO
- Já houve alguma anteriormente?  SIM  NÃO

## OBSERVAÇÕES ADICIONAIS:

(Ponte nova)

NOTA TÉCNICA
4

## 1. LAJE

	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Buraco (abertura)	<input type="checkbox"/> Existe		
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	Armadura exposta na face superior da laje na passarela.	
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração		
Marcas de Infiltração	<input type="checkbox"/> Forte	Drenos e pingadeiras (balancos laterais), nos vãos 6 e 8 e no bal 2.	
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente / Pouco	Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de pacometria.	

## 2. VIGAMENTO PRINCIPAL

	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Fissuras Finas	<input checked="" type="checkbox"/> Algumas		
Trincas (fissuras $w > 0,3\text{mm}$ )	<input type="checkbox"/> Algumas	Há fissuras, mas com abertura entre 0,2 e 0,3 mm.	
Armadura Principal	<input type="checkbox"/> Exposta		
Desagreg. De Concreto	<input type="checkbox"/> Muito Intenso		
Dente Gerber	<input type="checkbox"/> Quebrado/ Desplacado		
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Exagerada		
Aspectos do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente / Pouco	Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de pacometria.	



### FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA - ABNT

Inspeção Rotineira (ano): 2017	OAE Código:
Jurisdição (órgão, Concessão ou outros): Concessão	Data da Inspeção: 07/06/2017
<b>PARTE 1 - Informações Gerais</b>	
<b>A - Identificação e localização</b>	
Via ou município: BR-262/MG	Sentido: Crescente
Obra: Ponte sobre o Rio Pará - Oeste (nova)	Localização (km ou endereço): km: 431+100m
<b>B - Histórico das inspeções</b>	
Inicial: 2014	Última Rotineira: 2016
Especial: -	
<b>C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>	
Reparos:	
Alargamento:	
Reforços:	
<b>PARTE II - Registro de manifestações patológicas</b>	
<b>A - Elementos Estruturais</b>	
Superestrutura: Fissuras com abertura entre 0,2 e 0,3 mm nas vigas principais; pequena mancha de corrosão de armadura na laje, cobertura insuficiente nas vigas principais e laje.	
Mesoestrutura: Cobrimento insuficiente e manchas de infiltração em vigas de contraventamento de pilares.	
Infraestrutura: Falha no reforço, com perda de seção transversal no topo das estacas raiz e armadura exposta.	
Aparelhos de apoio: Obstruído por isopor e restos de argamassa.	
Juntas de dilatação: Obstruídas pelo revestimento asfáltico, material de vedação deteriorado.	
Encontros: Assentamento do aterro nos acessos, manchas de infiltração nas cortinas.	
Outros elementos:	
<b>B - Elementos da pista ou funcionais</b>	
Pavimento: Pequenas irregularidades no pavimento das pistas de acesso.	
Acostamento e refúgio:	
Drenagem: Falha no funcionamento de drenos e pingadeira nos balanços laterais da laje.	
Guarda-corpos: Armadura exposta, corrosão de armadura e deslocamentos.	
Barreiras rígidas/Defensas metálicas: Manchas e fissuras verticais devido à dilatação.	
<b>C - Outros elementos</b>	
Taludes: Erosão nos taludes devido ao lançamento de dreno na saia do aterro.	
Iluminação:	
Sinalização:	
Gabaritos: Estreitamento da pista devido à criação de uma passarela no local onde seria o acostamento.	
Proteção de pilares:	
<b>D - informação complementares</b>	
<b>E - Recomendações de terapia</b>	
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>	
Estrutural: Regular (3)	Funcional: Boa (4)
Durabilidade: Regular (3)	
<b>Justificativas</b>	
<b>Estrutural:</b> Fissuras de flexão nas vigas principais, com abertura dentro dos limites da norma; Juntas de dilatação obstruídas pelo revestimento asfáltico.	
<b>Funcional:</b> Estreitamento de pista; Pontos danificados nas juntas de dilatação.	
<b>Durabilidade:</b> Taludes de encontro com erosão localizada; Infiltração de água na face inferior da laje e cortinas; Corrosão de armadura nos guarda-corpos; Obra com deficiência de cobertura sem armadura exposta.	

#### Ficha de Classificação da OAE (ABNT)

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Superestrutura	Mesoestrutura	Infraestrutura	Elementos Complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	3	5	5	5	5	5	3
Funcional	5	NA	NA	5	5	4	4
Durabilidade	4	4	3	4	4	5	3

## AVALIAÇÃO SEGUINDO A METODOLOGIA GDE/UnB:

Resultado do cálculo do  $G_d$  para a ponte nova sobre o Rio Pará:

Famílias	Fr	Gdf	K
Apoios	5	3,36	16,78
Vigas Principais	5	5,60	27,99
Transversinas	3	8,81	26,44
Vigas de Contraventamento	3	33,25	99,74
Lajes	4	14,86	59,46
Cortinas e Alas	3	8,68	26,05
Barreiras e Guarda-corpo	1	52,32	52,32
Pista de Rolamento	1	7,65	7,65
Juntas de Dilatação	2	63,74	127,48
Infraestrutura	4	2,94	11,76

Kmáx=	127,48
$\sum k=$	455,66
<b>Gd=</b>	<b>23,65</b>

### CLASSIFICAÇÃO DA OAE (GDE/UnB)

Nível de deterioração:	<b>Médio (Gd entre 15 e 50)</b>
Ações recomendadas:	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos)

# APÊNDICE E - FICHAS DE INSPEÇÃO DAS PONTES SOBRE O RIBEIRÃO DOS PAIVAS

## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

OAE: Código: 262-OAE-0015    Nome: Ponte sobre o Ribeirão dos Paivas - Leste BR-262 / MG    km: 402+800m    UNIT:    RES:      
 Data: 23/05/2017    Inspeção:     DNIT/Residência:     Outra Entidade: Estudante de Mestrado - Engenharia de Estruturas/UFMG

**COMENTÁRIOS GERAIS**

a) Condições de Estabilidade:     Boa     Sofrível     Precária    Condições de Conservação:     Boa     Regular     Sofrível     Ruim

b) Nível de Vibração do Tabuleiro:     Normal     Intenso     Exagerado

c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária?     SIM     NÃO    Urgente?     SIM     NÃO

Já houve alguma anteriormente?     SIM     NÃO

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS:

<b>NOTA TÉCNICA</b>	<b>4</b>
---------------------	----------

(Ponte reabilitada)

	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
1. LAJE	<b>4</b>		
Buraco (abertura)	<input type="checkbox"/> Existe		
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		Concreto desagregado ao redor de um dreno no Vão 01.
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração		Nos balancos laterais da laje (drenos e pingadeiras)
Marcas de Infiltração	<input type="checkbox"/> Forte		
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente / Pouco		Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de Pacometria.

	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
2. VIGAMENTO PRINCIPAL	<b>4</b>		
Fissuras Finas	<input type="checkbox"/> Algumas		
Trincas (fissuras w>0,3mm)	<input type="checkbox"/> Algumas		
Armadura Principal	<input checked="" type="checkbox"/> Exposta		Armadura exposta no contato com o aparelho de apoio do P1.
Desagreg. De Concreto	<input type="checkbox"/> Muito Intenso		
Dente Gerber	<input type="checkbox"/> Quebrado/ Desplacado		
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Exagerada		
Aspectos do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente / Pouco		Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de Pacometria.



## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA - ABNT

Inspeção Rotineira (ano):	2017	OAE Código:	
Jurisdição (órgão, Concessão ou outros):	Concessão	Data da Inspeção:	23/05/2017
<b>PARTE 1 - Informações Gerais</b>			
<b>A - Identificação e localização</b>			
Via ou município:	BR-262/MG	Sentido:	Decrescente
Obra:	Ponte sobre o Ribeirão dos Paivas - Leste (reabilitada)	Localização (km ou endereço):	km: 431+100m
<b>B - Histórico das inspeções</b>			
Inicial:	2014	Última Rotineira:	2016
Especial:	-		
<b>C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>			
Reparos:	Reabilitação concluída em 2011.		
Alargamento:	Alargamento do tabuleiro sem adição de novos apoios e vigas, apenas com CA convencional.		
Reforços:	Reforço com aumento de seção transversal da laje, vigas principais, pilares e fundações. Alguns tubulões foram reforçados com estaca tipo raiz.		
<b>PARTE II - Registro de manifestações patológicas</b>			
<b>A - Elementos Estruturais</b>			
Superestrutura:	Armadura exposta nas longarinas, infiltrações na laje e concreto desagregado ao redor de um dreno.		
Mesoestrutura:	Desplacamento na camada de reforço no topo de um pilar, devido movimentação da longarina.		
Infraestrutura:			
Aparelhos de apoio:	Falha na execução do reforço, com restrição à movimentação da superestrutura.		
Juntas de dilatação:	Obstruídas pelo revestimento asfáltico.		
Encontros:	Manchas de infiltração nas cortinas.		
Outros elementos:			
<b>B - Elementos da pista ou funcionais</b>			
Pavimento:			
Acostamento e refúgio:			
Drenagem:	Falha no funcionamento de drenos e pingadeira nos balanços laterais da laje.		
Guarda-corpos:	Corrosão de armadura, fissuras e deslocamentos.		
Barreiras rígidas/Defensas metálicas:	Pontos de corrosão de armadura, ausência de defesa metálica no início da barreira.		
<b>C - Outros elementos</b>			
Taludes:	Erosão nos taludes.		
Iluminação:			
Sinalização:	Deficiência na sinalização do início da barreira de segurança no local onde seria o acostamento.		
Gabaritos:			
Proteção de pilares:			
<b>D - informação complementares</b>			
<b>E - Recomendações de terapia</b>			
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>			
Estrutural:	Boa (4)	Funcional:	Boa (4)
Durabilidade:	Regular (3)		
<b>Justificativas</b>			
<b>Estrutural:</b> Deficiência do aparelho de apoio (restrição à movimentação da superestrutura); Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico; Taludes de encontro com erosão.			
<b>Funcional:</b> Estreitamento de pista.			
<b>Durabilidade:</b> Erosão nos taludes da pista nos dois lados da ponte; Infiltração de água na face inferior da laje e cortinas; Corrosão de armadura nos guarda-corpos; Obra com deficiência de cobertura sem armadura exposta.			

## Ficha de Classificação da OAE (ABNT)

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Superestrutura	Mesoestrutura	Infraestrutura	Elementos Complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	4	4	4	5	4	5	4
Funcional	5	NA	NA	5	5	4	4
Durabilidade	4	4	3	4	4	5	3

## AVALIAÇÃO SEGUINDO A METODOLOGIA GDE/UnB:

Resultado do cálculo do  $G_d$  para a ponte reabilitada sobre o Ribeirão dos Paivas:

Famílias	Fr	Gdf	K
Apoios	5	8,52	42,59
Vigas Principais	5	6,99	34,97
Transversinas	3	3,34	10,01
Vigas de Contraventamento	3	5,88	17,64
Lajes	4	10,27	41,08
Cortinas e Alas	3	8,52	25,56
Barreiras e Guarda-corpo	1	63,85	63,85
Pista de Rolamento	1	7,52	7,52
Juntas de Dilatação	2	62,99	125,97
Infraestrutura	4	0,00	0,00

K <sub>máx</sub> =	125,97
$\sum k$ =	369,19
<b>G<sub>d</sub>=</b>	<b>22,95</b>

### CLASSIFICAÇÃO DA OAE (GDE/UnB)

Nível de deterioração:	<b>Médio (G<sub>d</sub> entre 15 e 50)</b>
Ações recomendadas:	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos)

FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

OAE: Código: 262-OAE-0015 Nome: Ponte sobre o Ribeirão dos Paivas - Oeste BR-262 / MG km: 402+800m UNIT: RES: \_\_\_\_\_  
 Data: 23/05/2017 Inspeção:  DNIT/Residência:  Outra Entidade: Estudante de Mestrado - Engenharia de Estruturas/UFMG

COMENTÁRIOS GERAIS

a) Condições de Estabilidade: <input checked="" type="checkbox"/> Boa <input type="checkbox"/> Sofrível <input type="checkbox"/> Precária Condições de Conservação: <input checked="" type="checkbox"/> Boa <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Sofrível <input type="checkbox"/> Ruim b) Nível de Vibração do Tabuleiro: <input checked="" type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Intenso <input type="checkbox"/> Exagerado c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO Urgente? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO Já houve alguma anteriormente? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th style="padding: 5px;">NOTA TÉCNICA</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">4</td> </tr> </table>	NOTA TÉCNICA	4
NOTA TÉCNICA			
4			

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS:  
(Ponte nova)

1. LAJE	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Buraco (abertura)	<input type="checkbox"/> Existe		
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração		
Marcas de Infiltração	<input type="checkbox"/> Forte		
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		
	<input type="checkbox"/> É Iminente		
	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
	<input checked="" type="checkbox"/> Grande Incidência		

Nos balancos laterais (drenos e pingadeiras) e nos vãos 1, 3 e 4.

2. VIGAMENTO PRINCIPAL	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Fissuras Finas	<input type="checkbox"/> Algumas		
Trincas (fissuras w>0,3mm)	<input type="checkbox"/> Algumas		
Armadura Principal	<input type="checkbox"/> Exposta		
Desagreg. De Concreto	<input type="checkbox"/> Muito Intenso		
Dente Gerber	<input type="checkbox"/> Quebrado/ Desplacado		
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Exagerada		
Aspectos do Concreto	<input checked="" type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		
	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
	<input type="checkbox"/> Trincado		

Falhas de concretagem pontuais.

## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA - DNIT

	Nota Técnica: <input type="text" value="4"/>	Local	Quantidade (Opcional)
<b>3. MESOESTRUTURA</b>			
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade		
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração		
Aparelho de Apoio	<input type="checkbox"/> Danificado		
Aspecto do Concreto	<input checked="" type="checkbox"/> Má Qualidade	Falhas de concretagem pontuais.	
Cobrimento	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente/ Pouco	Cobrimento insuficiente verificado no ensaio de Pacometria.	
Desaprumo	<input type="checkbox"/> Há		
Deslocabilidade dos Pilares	<input type="checkbox"/> Forte		

	Nota Técnica: <input type="text" value="4"/>	Local	Quantidade (Opcional)
<b>4. INFRAESTRUTURA</b>			
Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Deslocamento de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Erosão Terreno de Fundação	<input checked="" type="checkbox"/> Há		
Estacas Desenterradas	<input type="checkbox"/> Há		

	Nota Técnica: <input type="text" value="4"/>	Local	Quantidade (Opcional)
<b>5. PISTA / ACESSO</b>			
Irregularidades no Pav.	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	Leves trilhas de rodas no acesso da ponte, lado BH.	
Junta de Dilatação	<input type="checkbox"/> Faltando / Inoperante	Totamente Obstruída pelo revestimento asfáltico.	
Acessos x Ponte	<input type="checkbox"/> Degrau Acentuado		
Acidentes com Veículos	<input type="checkbox"/> Freqüente		
	<input type="checkbox"/> Muito Problemática		
	<input type="checkbox"/> Concordância Problem.		
	<input type="checkbox"/> Eventual		

ESQUEMAS

## FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA - ABNT

Inspeção Rotineira (ano):	2017	OAE Código:	
Jurisdição (órgão, Concessão ou outros):	Concessão	Data da Inspeção:	23/05/2017
<b>PARTE 1 - Informações Gerais</b>			
<b>A - Identificação e localização</b>			
Via ou município:	BR-262/MG	Sentido:	Crescente
Obra:	Ponte sobre o Ribeirão dos Paivas - Oeste (nova)	Localização (km ou endereço):	km: 431+100m
<b>B - Histórico das inspeções</b>			
Inicial:	2014	Última Rotineira:	2016
Especial:	-		
<b>C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento</b>			
Reparos:			
Alargamento:			
Reforços:			
<b>PARTE II - Registro de manifestações patológicas</b>			
<b>A - Elementos Estruturais</b>			
Superestrutura:	Manchas de infiltração nas lajes e em uma longarina, falhas de concretagem pontuais nas longarinas.		
Mesoestrutura:	Falhas de concretagem pontuais nos pilares, manchas de infiltração em uma viga de contraventamento.		
Infraestrutura:			
Aparelhos de apoio:	Aparelho de apoio enterrado pela saia do aterro.		
Juntas de dilatação:	Obstruídas pelo revestimento asfáltico.		
Encontros:	Manchas de infiltração nas cortinas e alas.		
Outros elementos:			
<b>B - Elementos da pista ou funcionais</b>			
Pavimento:	Leves trilhas de roda nas pistas de acesso.		
Acostamento e refúgio:			
Drenagem:	Falha no funcionamento de drenos e pingadeira nos balanços laterais da laje.		
Guarda-corpos:	Corrosão de armadura, fissuras e deslocamentos.		
Barreiras rígidas/Defensas metálicas:	Manchas escuras nas barreiras.		
<b>C - Outros elementos</b>			
Taludes:	Erosão nos taludes.		
Iluminação:			
Sinalização:			
Gabaritos:	Estreitamento da pista devido à criação de uma passarela no local onde seria o acostamento.		
Proteção de pilares:			
<b>D - informação complementares</b>			
<b>E - Recomendações de terapia</b>			
<b>PARTE III – Classificação da OAE</b>			
Estrutural:	Boa (4)	Funcional:	Boa (4)
Durabilidade:	Regular (3)		
<b>Justificativas</b>			
<b>Estrutural:</b> Junta de dilatação obstruída pelo revestimento asfáltico; Taludes de encontro com erosão.			
<b>Funcional:</b> Estreitamento de pista.			
<b>Durabilidade:</b> Erosão nos taludes da pista nos dois lados da ponte; Infiltração de água na face inferior da laje e cortinas; Corrosão de armadura nos guarda-corpos; Obra com deficiência de cobrimento sem armadura exposta.			

## Ficha de Classificação da OAE (ABNT)

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Superestrutura	Mesoestrutura	Infraestrutura	Elementos Complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	4	5	4	5	4	5	4
Funcional	5	NA	NA	5	5	4	4
Durabilidade	4	4	3	4	4	5	3

## AVALIAÇÃO SEGUINDO A METODOLOGIA GDE/UnB:

Resultado do cálculo do  $G_d$  para a ponte nova sobre o Ribeirão dos Paivas:

Famílias	Fr	Gdf	K
Apoios	5	4,93	24,65
Vigas Principais	5	3,86	19,32
Transversinas	3	4,64	13,93
Vigas de Contraventamento	3	4,80	14,40
Lajes	4	9,03	36,12
Cortinas e Alas	3	6,20	18,59
Barreiras e Guarda-corpo	1	61,25	61,25
Pista de Rolamento	1	7,52	7,52
Juntas de Dilatação	2	62,99	125,97
Infraestrutura	4	0,00	0,00

K <sub>máx</sub> =	125,97
$\sum k$ =	321,75
<b>G<sub>d</sub>=</b>	<b>22,60</b>

### CLASSIFICAÇÃO DA OAE (GDE/UnB)

Nível de deterioração:	<b>Médio (G<sub>d</sub> entre 15 e 50)</b>
Ações recomendadas:	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos)

## APÊNDICE F – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PACOMETRIA

### Ponte Nova Sobre o Rio Sapucaí Mirim

Elemento	Espessura Média (cm)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Posição
Pilar 2	1,86	0,54	28,85	Barras transversais
Pilar 5	0,88	0,43	49,14	Barras transversais
Pilar 8	0,50	0,20	40,00	Barras transversais
Pilar 11	1,19	0,31	26,08	Barras transversais
Longarina 1 - Face Interna	3,93	0,47	12,01	Barras transversais
Longarina 1 - Face Inferior	1,00	0,64	63,77	Barras transversais
Longarina 1 - Face Externa	1,00	0,35	34,64	Barras transversais
Longarina 2 - Face Interna	4,00	0,70	17,50	Barras transversais
Longarina 2 - Face Inferior	2,07	0,15	7,39	Barras transversais
Longarina 2 - Face Externa	3,63	0,15	4,20	Barras transversais
Viga Cont. 1 - P1/P7	0,70	0,10	14,29	Barras transversais
Viga Cont. 6 - P6/P12	1,83	0,25	13,73	Barras transversais
Transversina 1	1,48	0,62	41,93	Barras transversais
Transversina 11	1,40	0,00	0,00	Barras transversais
Laje Balanço 1	2,85	0,26	9,28	Barras transversais
Laje Balanço 1	4,33	0,41	9,51	Barras longitudinais
Laje Balanço 2	2,45	0,06	2,36	Barras transversais
Laje Balanço 2	2,50	0,26	10,58	Barras longitudinais
Cortina 1	0,57	0,50	88,82	Barras transversais
Cortina 2	1,53	0,67	43,42	Barras transversais

### Ponte Reabilitada Sobre o Rio Sapucaí Mirim

Elemento	Espessura Média (cm)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)	Posição
Pilar 2	0,10	0,17	173,21	Barras transversais
Pilar 5	0,33	0,25	76,92	Barras transversais
Pilar 11	0,03	0,06	173,21	Barras transversais
Longarina 1 - Face Interna	0,00	0,00	-	Barras transversais
Longarina 1 - Face Inferior	0,00	0,00	-	Barras transversais
Longarina 1 - Face Externa	1,18	0,21	17,55	Barras transversais
Longarina 2 - Face Interna	0,00	0,00	0,00	Barras transversais
Longarina 2 - Face Externa	0,68	0,55	81,48	Barras transversais
Viga Cont. 2 - P2/P8	1,23	0,10	7,82	Barras transversais
Viga Cont. 5 - P5/P11	0,84	0,72	85,27	Barras transversais
Laje Balanço 1 - Antiga	0,09	0,11	128,68	Barras transversais
Laje Balanço 1 - Antiga	0,38	0,39	102,99	Barras longitudinais
Laje Balanço 1 - Nova	1,80	0,44	24,43	Barras transversais
Laje Balanço 1 - Nova	2,35	0,47	19,81	Barras longitudinais
Transversina 1	1,20	0,19	15,59	Barras transversais
Transversina 16	0,00	0,00	0,00	Barras transversais
Cortina 1 - Nova	2,53	0,45	17,80	Barras transversais
Cortina 1 - Antiga	1,23	0,15	12,24	Barras transversais
Barreira 1	3,83	0,21	5,43	Barras transversais

#### Legenda:

- Espessura média de cobrimento atende à especificação de projeto.
- Espessura média de cobrimento não atende à especificação de projeto.
- Espessura média de cobrimento dentro da especificação de projeto, considerando a tolerância do pacômetro.

#### Observações:

- Para o ensaio de pacometria, foi utilizado um equipamento detector de metais da marca Bosh, modelo D-tect 150 Professional, cuja tolerância é de +/- 0,5 cm.
- Para cada elemento ensaiado, foram realizados no mínimo três medidas de espessuras.
- Foram rejeitados os resultados das medições que apresentaram desvios significantes em relação às outras medidas, seguindo o critério de Chauvenet.
- Foram excluídos os ensaios, cujos resultados apresentaram desvio padrão maior que 0,75 cm e coeficiente de variação superior a 25 %.

### Ponte Nova Sobre o Ribeirão Mateus Leme

Elemento	Espessura Média (cm)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)	Posição
Barreira 1	1,73	0,24	13,97	Barras transversais
Barreira 2	1,36	0,38	27,81	Barras transversais
Encontro 2	2,44	0,28	11,54	Barras transversais
Pilar 1	1,68	-	-	Barras transversais*
Pilar 2	1,12	-	-	Barras transversais*
Viga de contrav. P1-P2	2,24	0,71	31,66	Barras transversais
Longarina 1 - Face Externa	2,84	0,74	26,18	Barras transversais
Longarina 4 - Face Interna	2,42	0,60	24,69	Barras transversais
Longarina 4 - Face Inferior	1,09	0,69	63,46	Barras transversais
Longarina 4 - Face Externa	5,26	0,42	8,02	Barras transversais
Transversina 1	1,58	0,42	26,62	Barras transversais
Transversina 8	2,37	0,72	30,38	Barras transversais
Ala 3	3,40	0,46	13,41	Barras transversais
Laje Vão 2 (pré-laje)	3,30	0,56	16,87	Barras transversais
Laje Vão 2 (pré-laje)	2,70	0,35	12,83	Barras longitudinais

### Ponte Reabilitada Sobre o Ribeirão Mateus Leme

Elemento	Espessura Média (cm)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)	Posição
Barreira 1	2,49	0,57	22,79	Barras transversais
Barreira 2	3,05	0,45	14,78	Barras transversais
Cortina 1	0,00	0,00	0,00	Barras transversais
Transversina 1	1,48	0,56	38,10	Barras transversais
Transversina 6	0,98	0,21	21,14	Barras transversais
Pilar 1	4,86	-	-	Barras transversais*
Pilar 2	2,32	-	-	Barras transversais*
Pilar 4	2,10	-	-	Barras transversais*
Longarina 1 - Face Externa	3,20	0,12	3,61	Barras transversais
Longarina 1 - Face Inferior	1,77	0,47	26,75	Barras transversais
Longarina 2 - Face Interna	0,86	0,34	39,94	Barras transversais
Longarina 2 - Face Externa	5,17	0,29	5,55	Barras transversais
Viga de Cont. P1-P2	0,00	0,00	0,00	Barras transversais
Viga de Cont. P3-P4	0,00	0,00	0,00	Barras transversais
Laje Bal 1 - Antiga	0,00	0,00	0,00	Barras transversais
Laje Bal 1 - Antiga	0,00	0,00	0,00	Barras longitudinais

#### Legenda:

- Espessura média de cobrimento atende à especificação de projeto.
- Espessura média de cobrimento não atende à especificação de projeto.
- Espessura média de cobrimento dentro da especificação de projeto, considerando a tolerância do pacômetro.

#### Observações:

- Para o ensaio de pacometria, foi utilizado um equipamento detector de metais da marca Bosh, modelo D-tect 150 Profissional, cuja tolerância é de +/- 0,5 cm.
- Para cada elemento ensaiado, foram realizados no mínimo três medidas de espessuras.
- Foram rejeitados os resultados das medições que apresentaram desvios significantes em relação às outras medidas, seguindo o critério de Chauvenet.
- Foram excluídos os ensaios, cujos resultados apresentaram desvio padrão maior que 0,75 cm e coeficiente de variação superior a 25 %.
- Não havia nenhum elemento de fundação com superfície descoberta o suficiente para a realização do ensaio em ambas as pontes.
- Não foi possível obter mais medidas de cobrimento da laje nova na ponte alargada, devido à dificuldade de acesso a esses elementos.
- \* Não foi possível medir o cobrimento das armaduras transversais dos pilares de ambas as pontes, devido ao seu formato circular. As espessuras de cobrimento dos estribos foram estimadas, subtraindo seu diâmetro da espessura média de cobrimento das barras longitudinais.

### Ponte Nova Sobre o Rio Paraopeba

Elemento	Espessura Média (cm)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)	Posição
Barreira 1	1,83	0,63	34,76	Barras transversais
Encontro 1	2,76	0,44	15,92	Barras transversais
Encontro 2	0,70	0,60	85,24	Barras transversais
Pilar 1	2,09	0,50	24,04	Barras longitudinais
Pilar 1	1,29	-	-	Barras transversais*
Pilar 4	0,92	-	-	Barras transversais*
Longarina 2 - Face Interna	3,93	0,31	7,77	Barras transversais
Longarina 2 - Face Externa	4,00	0,56	13,92	Barras transversais
Longarina 3 - Face Inferior	1,88	0,53	28,35	Barras transversais
Longarina 3 - Face Externa	3,98	0,39	9,93	Barras transversais
Longarina 4 - Face Externa	5,14	0,63	12,35	Barras transversais
Transversina 16	3,37	0,32	9,55	Barras transversais
Laje Superfície - Passarela	3,13	0,31	9,75	Barras transversais
Laje Superfície - Passarela	4,57	1,02	22,37	Barras longitudinais
Laje Vão 1 (pré-laje)	2,40	0,46	19,09	Barras transversais
Laje Vão 1 (pré-laje)	1,67	0,25	15,10	Barras longitudinais

### Ponte Reabilitada Sobre o Rio Paraopeba

Elemento	Espessura Média (cm)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)	Posição
Barreira 1	0,61	0,49	79,99	Barras transversais
Pilar 1	4,15	-	-	Barras transversais*
Pilar 2	2,07	-	-	Barras transversais*
Pilar 9	2,80	-	-	Barras transversais*
Longarina 2 - Face Interna	1,68	0,73	43,43	Barras transversais
Longarina 2 - Face Externa	3,27	0,25	7,70	Barras transversais
Viga de Cont. P1-P2	0,00	0,00	0,00	Barras transversais
Laje Superfície - Passarela	5,17	0,15	2,96	Barras transversais
Laje Superfície - Passarela	6,68	0,92	13,81	Barras longitudinais
Laje Bal 2 - Antiga	0,00	0,00	0,00	Barras longitudinais
Laje Bal 2 - Nova	1,63	0,05	3,08	Barras transversais
Laje Bal 2 - Nova	2,35	0,26	11,26	Barras longitudinais

#### Legenda:

- Espessura média de cobrimento atende à especificação de projeto.
- Espessura média de cobrimento não atende à especificação de projeto.
- Espessura média de cobrimento dentro da especificação de projeto, considerando a tolerância do pacômetro.

#### Observações:

- Para o ensaio de pacometria, foi utilizado um equipamento detector de metais da marca Bosh, modelo D-tect 150 Professional, cuja tolerância é de +/- 0,5 cm.
- Para cada elemento ensaiado, foram realizados no mínimo três medidas de espessuras.
- Foram rejeitados os resultados das medições que apresentaram desvios significantes em relação às outras medidas, seguindo o critério de Chauvenet.
- Foram excluídos os ensaios, cujos resultados apresentaram desvio padrão maior que 0,75 cm e coeficiente de variação superior a 25 %.
- Não havia nenhum elemento de fundação com superfície descoberta o suficiente para a realização do ensaio na ponte nova.
- Não foi possível obter mais medidas de cobrimento das lajes e das transversinas da ponte nova, devido à dificuldade de acesso a esses elementos.
- \* Não foi possível medir o cobrimento das armaduras transversais dos pilares de ambas as pontes, devido ao seu formato circular. As espessuras de cobrimento dos estribos foram estimadas, subtraindo seu diâmetro da espessura média de cobrimento das barras longitudinais.

### Ponte Nova Sobre o Rio Pará

Elemento	Espessura Média (cm)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)	Posição
Pilar 13	1,83	-	-	Barras transversais*
Pilar 14	2,30	-	-	Barras transversais*
Pilar 15	2,30	-	-	Barras transversais*
Pilar 16	2,36	-	-	Barras transversais*
Pilar 17	1,65	-	-	Barras transversais*
Pilar 18	1,63	-	-	Barras transversais*
Pilar 19	1,50	-	-	Barras transversais*
Pilar 20	1,73	-	-	Barras transversais*
Viga Cont. 15/16	2,27	0,50	22,21	Barras transversais
Viga Cont. 17/18	1,67	0,15	9,17	Barras transversais
Viga Cont. 21/22	1,32	0,64	48,37	Barras transversais
Longarina 1 - Face Interna	0,85	0,40	47,48	Barras transversais
Longarina 1 - Face Inferior	1,58	0,66	42,08	Barras transversais
Longarina 1 - Face Externa	1,60	0,61	38,02	Barras transversais
Longarina 2 - Face Inferior	1,08	0,35	32,20	Barras transversais
Longarina 2 - Face Externa	2,96	0,36	12,09	Barras transversais
Transversina 21	2,04	0,41	20,31	Barras transversais
Laje Balanço 2	0,98	0,69	71,24	Barras longitudinais

### Ponte Reabilitada Sobre o Rio Pará

Elemento	Espessura Média (cm)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)	Posição
Pilar 3	3,53	-	-	Barras transversais*
Longarina 1 - Face Externa	5,75	0,71	12,42	Barras transversais
Transversina 21	0,35	0,06	16,50	Barras transversais
Laje Balanço 2 - Antiga	2,08	0,56	27,07	Barras transversais
Laje Balanço 2 - Antiga	2,50	-	-	Barras longitudinais
Laje Balanço 2 - Nova	0,97	0,32	33,25	Barras transversais

#### Legenda:

- Espessura média de cobertura atende à especificação de projeto.
- Espessura média de cobertura não atende à especificação de projeto.
- Espessura média de cobertura dentro da especificação de projeto, considerando a tolerância do pacômetro.

#### Observações:

- Para o ensaio de pacometria, foi utilizado um equipamento detector de metais da marca Bosh, modelo D-tect 150 Professional, cuja tolerância é de +/- 0,5 cm.
- Para cada elemento ensaiado, foram realizados no mínimo três medidas de espessuras.
- Foram rejeitados os resultados das medições que apresentaram desvios significantes em relação às outras medidas, seguindo o critério de Chauvenet.
- Foram excluídos os ensaios, cujos resultados apresentaram desvio padrão maior que 0,75 cm e coeficiente de variação superior a 25 %.
- Não foi possível medir o cobrimento das faces das longarinas que receberam concreto projetado, devido à rugosidade da superfície.
- Não havia nenhum elemento de fundação com superfície descoberta o suficiente para a realização do ensaio em ambas as pontes.
- Não foi possível obter mais medidas de cobrimento da laje em ambas as pontes e das vigas de contraventamento dos pilares da ponte reabilitada, devido à dificuldade de acesso a esses elementos.

\* Não foi possível medir o cobrimento das armaduras transversais dos pilares de ambas as pontes, devido ao seu formato circular. As espessuras de cobrimento dos estribos foram estimadas, subtraindo seu diâmetro da espessura média de cobrimento das barras longitudinais.

### Ponte Nova Sobre o Ribeirão dos Paivas

Elemento	Espessura Média (cm)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)	Posição
Pilar 2	1,95	-	-	Barras transversais*
Tubulão 2	2,13	-	-	Barras transversais*
Tubulão 7	2,33	-	-	Barras transversais*
Longarina 1 - Face Interna	3,93	0,41	10,38	Barras transversais
Longarina 1 - Face Inferior	0,67	0,65	97,60	Barras transversais
Longarina 1 - Face Externa	2,55	0,13	5,06	Barras transversais
Transversina 2	2,40	0,37	15,59	Barras transversais
Laje Vão 4	2,90	0,20	6,90	Barras transversais

### Ponte Reabilitada Sobre o Ribeirão dos Paivas

Elemento	Espessura Média (cm)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)	Posição
Barreira 1	3,93	0,21	5,29	Barras transversais
Pilar 2	2,60	0,44	16,87	Barras transversais
Longarina 1 - Face Interna	1,87	0,32	17,22	Barras transversais
Longarina 1 - Face Inferior	1,68	0,17	10,20	Barras transversais
Longarina 1 - Face Externa	3,10	0,10	3,23	Barras transversais
Transversina 3	1,83	0,55	30,04	Barras transversais
Laje Vão 4 - Antiga	0,73	0,51	69,77	Barras transversais
Laje Vão 4 - Antiga	2,03	0,40	19,88	Barras longitudinais
Laje Vão 4 - Nova	0,87	0,65	75,07	Barras transversais
Laje Vão 4 - Nova	0,70	0,41	58,55	Barras longitudinais

#### Legenda:

- Espessura média de cobertura atende à especificação de projeto.
- Espessura média de cobertura não atende à especificação de projeto.
- Espessura média de cobertura dentro da especificação de projeto, considerando a tolerância do pacômetro.

#### Observações:

- Para o ensaio de pacometria, foi utilizado um equipamento detector de metais da marca Bosh, modelo D-tect 150 Professional, cuja tolerância é de +/- 0,5 cm.
- Para cada elemento ensaiado, foram realizados no mínimo três medidas de espessuras.
- Foram rejeitados os resultados das medições que apresentaram desvios significantes em relação às outras medidas, seguindo o critério de Chauvenet.
- Foram excluídos os ensaios, cujos resultados apresentaram desvio padrão maior que 0,75 cm e coeficiente de variação superior a 25 %.
- Não foi possível medir o cobrimento das faces das longarinas que receberam concreto projetado, devido à rugosidade da superfície.
- Não havia nenhum elemento de fundação com superfície descoberta o suficiente para a realização do ensaio em ambas as pontes.
- Não foi possível obter mais medidas de cobrimento da laje em ambas as pontes, devido à dificuldade de acesso a esses elementos.
- \* Não foi possível medir o cobrimento das armaduras transversais dos pilares e tubulões da ponte nova, devido ao seu formato circular. As espessuras de cobrimento dos estribos foram estimadas, subtraindo seu diâmetro da espessura média de cobrimento das barras longitudinais.