

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
DIRETORIA DE ENSINO
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

DANIELE KAUCTZ MONTEIRO

**RETROANÁLISE, INSPEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS:
ESTUDO DE CASO - PONTE SOBRE O RIO DAS PEDRAS - AREIA BRANCA/SE**

MONOGRAFIA

**ARACAJU
2020**

DANIELE KAUCTZ MONTEIRO

**RETROANÁLISE, INSPEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS:
ESTUDO DE CASO - PONTE SOBRE O RIO DAS PEDRAS – AREIA BRANCA/SE**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof. Me. Rodolfo Santos da Conceição.

**ARACAJU
2020**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Monteiro, Daniele Kautz

M772r Retroanálise, inspeção e recuperação de pontes rodoviárias: estudo de caso – Ponte sobre o Rio das Pedras – Areia Branca/SE. / Daniele Kautz Monteiro. - Aracaju, 2020.

71 f. : il.

Orientador: Rodolfo Santos da Conceição.
Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Sergipe, 2020.

1. Pontes. 2. Inspeção. 3. Manifestações Patológicas. 4. Análise estrutural. 5. Ensaios não destrutivos. I. Conceição, Rodolfo Santos da. II. Título.

CDU 624.21(81)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
Av. Jorge Amado, 1551 – Loteamento Garcia, Bairro Jardins - CEP 49025-330 – Aracaju/SE
Fone: (79) 3711 1400 – E-mail: reitoria@ifs.edu.br

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 169

**RETROANÁLISE, INSPEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS:
ESTUDO DE CASO – PONTE SOBRE O RIO DAS PEDRAS – AREIA BRANCA/SE.**

DANIELE KAUCTZ MONTEIRO

Esta monografia foi apresentada às 09h00 do dia 26 de novembro de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHARELA EM ENGENHARIA CIVIL. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.


Prof. Dr. Carlos Eduardo Rossigali
(UFPR - Campus Pontal do Paraná)


Prof. M.Sc. Euler Wagner Freitas Santos
(IFS – Campus Aracaju)


Prof. M.Sc. Rodolfo Santos da Conceição
(IFS – Campus Aracaju)
Orientador


Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

Dedico esse trabalho ao meu tio-avô,
Cezário Drancka (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha mãe e irmã, Dilma e Daiane.

Aos meus tios, Cezário e Nair.

À minha família em Aracaju, Panza-Pereira.

Ao casal, Dayana e Marcos.

Ao meu orientador, prof. Rodolfo Santos da Conceição.

Aos meus amigos de curso, Vitor, Igor, Aron, Adriano, Douglas e Lucas.

A EMPREENG e meus amigos de empresa júnior, Beatriz, Hendryck, Larissa e Maxsuel.

A todos os professores da COEC.

Aos engenheiros do DNIT, Wedmy, Rodrigo e Gustavo.

Vocês fizeram parte dessa jornada.

Somos nós que movemos o mundo
e seremos nós que vamos salvá-lo.
(RAND, Ayn, 1957)

RESUMO

MONTEIRO, Daniele Kautz. **Retroanálise, Inspeção e Recuperação de Pontes Rodoviárias:** Estudo de Caso – Ponte sobre o Rio das Pedras – Areia Branca/SE. 71 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2020.

Com a ocorrência recente de desabamentos de pontes e viadutos, além de outros acidentes em estruturas pelo Brasil, a busca de uma maior vida útil e melhor gerenciamento de obras da construção civil se tornam cada vez mais necessárias. Assim, inspeções rotineiras se mostram como grandes aliadas da segurança pública e da durabilidade, permitindo a detecção precoce de problemas estruturais. Esse trabalho teve como objeto de estudo a Ponte sobre o Rio das Pedras, localizada na BR-235/SE, sendo realizada uma análise estrutural no *software* SAP2000. Realizou-se o levantamento da geometria da estrutura, cadastro das manifestações patológicas visíveis e ensaios não destrutivos de pacometria e esclerometria. Na análise estrutural, comparou-se a situação de projeto com a situação atual, verificando os carregamentos e coeficientes de segurança estabelecidos nas normas vigentes em cada período, encontrando-se diferenças de até 33,23% entre as tensões normais máximas. Considerou-se ainda um terceiro cenário, referente ao deslocamento vertical excessivo verificado em uma das vigas longarinas durante uma inspeção extraordinária, para o qual constatou-se ser o principal agente de diversas manifestações patológicas da ponte.

Palavras-chave: Pontes. Inspeção. Manifestações Patológicas. Análise estrutural. Ensaios não destrutivos.

ABSTRACT

MONTEIRO, Daniele Kautz. **Retroanálise, Inspeção e Recuperação de Pontes Rodoviárias:** Estudo de Caso – Ponte sobre o Rio das Pedras – Areia Branca/SE. 71 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2020.

Due to recent occurrence of the collapse of bridges and viaducts, besides other accidents in structures throughout Brazil, the search for a longer life span and better management of civil construction works is becoming increasingly necessary. Thus, routine inspections prove to be great allies of public safety and durability, allowing early detection of structural problems. This work had as object of study the bridge over Rio das Pedras, located in BR-235/SE, performing a structural analysis in the SAP2000 software. The survey of the structure geometry, the registration of visible pathologies manifestations and non-destructive tests (pacometry and sclerometry) were carried out. In the structure analysis, the project situation was compared with the current situation, verifying the loading and factor of safety established in the standards valid in each period, finding a difference of up to 33.23% between the maximum normal stresses. It was considered a third case, related to the excessive displacement verified in one of the beam members during an extraordinary inspection, that was found to be the main agent of several pathological manifestations of the bridge.

Keywords: Bridges. Inspection. Pathological manifestations. Structural analysis. Non-destructive testing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desabamento de parte do Eixão Sul no centro de Brasília	14
Figura 2 – Ponte desaba e rompe tubulação de água em Pedra Branca.....	15
Figura 3 – Subdivisão dos elementos de uma ponte.....	16
Figura 4 – Fluxograma de gerenciamento da OAE	20
Figura 5 – Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto ao longo do tempo	26
Figura 6 – Esquema de Funcionamento do Pacômetro	27
Figura 7 – Diagrama de operação do esclerômetro de reflexão	28
Figura 8 – Disposição de carga móvel rodoviária padrão	30
Figura 9 – Disposição das cargas estáticas.....	30
Figura 10 – Atualização das normas de cálculo estrutural	32
Figura 11 – Linha de influência da reação de apoio de viga biapoiada.....	33
Figura 12 – Ponte sobre o Rio das Pedras	36
Figura 13 – Localização da Ponte sobre o Rio das Pedras	36
Figura 14 – Coordenadas do tabuleiro.....	37
Figura 15 – Estrutura inferior da ponte	38
Figura 16 – Corte transversal da ponte.....	38
Figura 17 – Corte longitudinal da ponte.....	38
Figura 18 – Armaduras expostas e corroídas	39
Figura 19 – Rachaduras no passeio	39
Figura 20 – Desagregação do concreto.....	40
Figura 21 – Rachadura na laje e transversina	40
Figura 22 – Deslocamento vertical da longarina	41
Figura 23 – Deslocamento do encontro	41
Figura 24 – Contenção do encontro caída	42
Figura 25 – Percolação de água no encontro.....	42
Figura 26 – Deterioração do guarda corpo	43
Figura 27 – Amarração no guarda-corpo.....	43
Figura 28 – Manchas de umidade.....	44
Figura 29 – Carregamento do trem-tipo lançados no SAP2000.....	46
Figura 30 – Posição 1 do trem-tipo	47
Figura 31 – Posição 2 do trem-tipo	48
Figura 32 – Modelagem estrutural da ponte	48

Figura 33 – Área de contato das rodas na seção média da laje	49
Figura 34 – Elementos estruturais da Ponte sobre o Rio das Pedras	49
Figura 35 – Ponto analisado na transversina VT5	50
Figura 36 – Ponto analisado na transversina VT4	52
Figura 37 – Pontos analisados nas longarinas	52
Figura 38 – Pontos analisados nas lajes	54
Figura 39 – Localização das Armaduras conforme ensaio de pacometria	56
Figura 40 – Realização do ensaio de esclerometria.....	56
Figura 41 – Curva de conversão do esclerômetro	57
Figura 42 – Execução da obra de recuperação da ponte.....	58
Figura 43 – Remoção do concreto da parte superior do encontro	58
Figura 44 – Planta baixa do projeto de escoramento.....	59
Figura 45 – Seção longitudinal do projeto de escoramento.....	59
Figura 46 – Seção transversal do projeto de escoramento.....	60
Figura 47 – Detalhe do escoramento da ponte	60
Figura 48 – Concreto com seixo e CA-25 no encontro	61
Figura 49 – Rachadura no encontro da ponte	61
Figura 50 – Segregação do concreto do passeio.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pesos totais medidos dos veículos pelas balanças seletiva e lenta	31
Tabela 2 – Ações atuantes na ponte	45
Tabela 3 – Tensões atuantes na transversina VT5 (kN/m ²).....	50
Tabela 4 – Tensões atuantes na transversina VT4 (kN/m ²).....	51
Tabela 5 – Tensões atuantes na longarina VL1 (kN/m ²).....	53
Tabela 6 – Tensões atuantes na longarina VL2 (kN/m ²).....	53
Tabela 7 – Momentos fletores nas lajes (kNm/m).....	55
Tabela 8 – Resultados do ensaio de esclerometria	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 DEFINIÇÕES	16
2.2 HISTÓRIA TÉCNICA EM PONTES	17
2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	21
2.3.1 Corrosão das Armaduras do Concreto.....	23
2.3.2 Fissuração	24
2.3.3 Desagregações	24
2.3.4 Disgregações.....	25
2.3.5 Reação Álcali-agregado.....	25
2.3.6 Carbonatação	26
2.4 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	27
2.4.1 Ensaio de Pacometria.....	27
2.4.2 Ensaio de Esclerometria	28
2.4.3 Ensaio de Ultrassom	28
2.5 ANÁLISE ESTRUTURAL	29
2.5.1 Ações Atuantes nas Pontes	29
2.5.2 Linhas de Influência	32
2.5.3 Estados Limites e Combinações de Ações	33
3 METODOLOGIA.....	35
4 ESTUDO DE CASO	36
4.1 LOCAL DE ESTUDO.....	36
4.2 IDENTIFICAÇÃO ESTRUTURAL	37
4.3 HISTÓRIA TÉCNICA	39
4.4 ANÁLISE ESTRUTURAL DA PONTE	44
4.4.1 Ações Consideradas.....	44
4.4.2 Combinações de Ações Consideradas	46
4.4.3 Posições do Trem-Tipo.....	47
4.4.4 Esforços Internos atuantes nos Elementos.....	48
4.4.4.1 Tensões na transversina VT5.....	50
4.4.4.2 Tensões na transversina VT4.....	51
4.4.4.3 Tensões nas longarinas	52
4.4.4.4 Momentos fletores nas lajes	54

4.5 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	55
4.6 RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA	57
4.7 CLASSIFICAÇÃO DA PONTE	62
5 CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS	65
ANEXO I – INSPEÇÃO ROTINEIRA DA PONTE SOBRE O RIO DAS PEDRAS.....	69
ANEXO II – ESPECIFICAÇÕES DO GUARDA-CORPO	71

1 INTRODUÇÃO

Uma ponte é uma estrutura que tem como objetivo interligar pontos que são separados por algum obstáculo natural ou artificial, permitindo o livre fluxo de pessoas e mercadorias. Esse tipo de construção também é conhecido como Obra de Arte Especial (OAE) pelas grandes estruturas construídas ao longo da história, que além de superar vãos longos, desafiam as configurações convencionais.

Entretanto, como qualquer outro tipo de estrutura, as OAEs também estão sujeitas a deterioração, gerada por causas intrínsecas e extrínsecas, sendo as manifestações patológicas mais comuns: a fissuração, corrosão, carbonatação, desagregação e disgregação.

Como diversas pontes do sistema viário brasileiro foram construídas há mais de 50 anos, é indispensável a realização de inspeções rotineiras, garantindo a durabilidade da estrutura através da execução de manutenções necessárias.

Assim, é possível evitar grandes calamidades como o caso de desabamento de parte do Viaduto do Eixão Sul (figura 1), em Brasília, ocorrido em fevereiro de 2018. Esse acidente causou o esmagamento de carros com a queda da estrutura, a destruição de um restaurante e, posteriormente, a interdição do trecho, onde diariamente passavam cerca de cento e vinte mil veículos (G1, 2018).

Figura 1 – Desabamento de parte do Eixão Sul no centro de Brasília



Fonte: EL PAÍS (2018)

Em Sergipe, em maio de 2015, ocorreu um acidente similar em uma ponte da BR-101 sobre o Rio Sergipe (figura 2), localizada no Povoado de Pedra Branca. A estrutura desabou, rompendo a tubulação de água de duas adutoras, causando a interrupção do abastecimento de água em algumas localidades (G1, 2015).

Figura 2 – Ponte desaba e rompe tubulação de água em Pedra Branca



Fonte: G1 (2015)

Considerando a importância das OAEs e a necessidade de que essas estruturas tenham sua vida útil de projeto garantida, este trabalho propõe estudar a Ponte sobre o Rio das Pedras, localizada no estado de Sergipe, na BR-235, com os objetivos indicados a seguir.

1.1 OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo geral verificar a integridade estrutural de uma ponte no estado de Sergipe, por meio da análise estrutural, bem como indicar os procedimentos necessários para sua recuperação.

Como objetivos específicos, o estudo pretende:

- Determinar as características geométricas da estrutura;
- Inspeccionar a estrutura apontando as manifestações patológicas verificadas;
- Reconstituir as condições originais de cálculo do projeto estrutural da ponte estudada;
- Estimar as propriedades físicas da estrutura por meio de ensaios técnicos;
- Realizar análise estrutural através de modelo numérico;
- Indicar condições atuais de cálculo para a ponte, conforme as normas vigentes;
- Acompanhar a execução dos serviços de recuperação da ponte, sob supervisão do DNIT.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DEFINIÇÕES

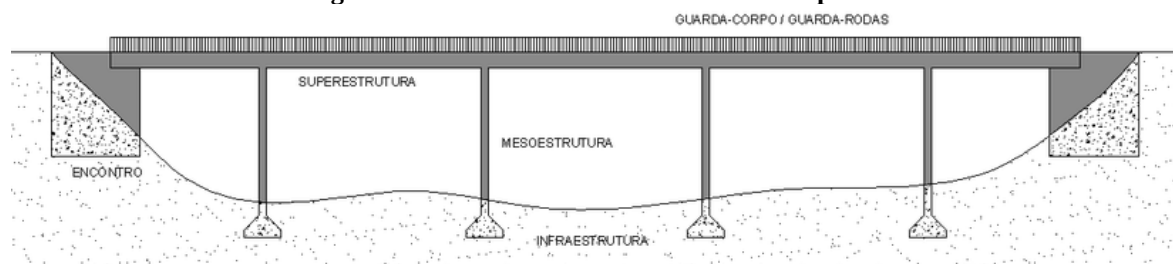
As pontes podem ser denominadas como obras destinadas a possibilitar a transposição de empecilhos à continuidade de uma via de comunicação qualquer. Esses empecilhos podem ser: rios, vales profundos, braço de mar, outras vias etc. (MARCHETTI, 2013).

Já Debs e Takeya (2003) *apud* Sartorti (2008) definem ponte como a estrutura que transpõe um obstáculo composto por um curso de água, enquanto um viaduto como a estrutura destinada a transpor um vale ou uma via. Em todo caso, o tratamento estrutural apresenta diferenças significativas apenas na infraestrutura do conjunto.

Segundo Amorim *et al.* (2012), em geral, as pontes possuem três componentes básicos (figura 3):

- Superestrutura: composta por lajes, vigas longarinas e vigas transversinas, sendo esses os elementos estruturais que recebem influência direta do carregamento móvel atuante;
- Mesoestrutura: constituída pelos pilares, além de cintas de travamento e aparelhos de apoio dependendo do grau de rigidez das ligações;
- Infraestrutura: formada pelos encontros de seus elementos e estruturas de fundações (blocos, estacas e tubulões).

Figura 3 – Subdivisão dos elementos de uma ponte



Fonte: Amorim *et al.* (2012)

Em complemento, outros elementos das pontes, bem como a nomenclatura de algumas dimensões, são apresentados e definidos no quadro 1.

Quadro 1 – Elementos e dimensões constituintes das pontes

Elemento ou dimensão	Descrição
Pista de rolamento	Largura disponível para tráfego normal de veículos ou pedestre, que pode ser subdividida em faixas.
Acostamento	Largura adicional a pista de rolamento utilizada em casos de emergência pelos veículos.
Passeio	Largura adicional destinada exclusivamente ao tráfego de pedestres.
Guarda-rodas	Elemento destinado a impedir a invasão dos veículos no passeio.
Guarda-corpo	Elemento de proteção aos pedestres.
Viga longitudinal	Elemento destinado a vencer o obstáculo.
Viga transversina	Elemento transversal as vigas principais destinado a evitar efeitos secundários das vigas principais e redistribuir os esforços.
Tabuleiro	Elemento de placa destinado a receber a ação direta dos veículos e pedestres.
Comprimento da ponte ou vão total	Distância medida horizontalmente segundo o eixo longitudinal, entre as seções extremas da ponte.
Vão, vão teórico ou tramo	Distância medida horizontalmente entre os eixos de dois suportes consecutivos.
Vão livre	Distância entre faces de dois suportes consecutivos.
Altura da construção	Distância entre o ponto mais baixo e mais alto da superestrutura.
Altura livre	Distância entre o ponto mais baixo da superestrutura e o ponto mais alto do obstáculo. Pode variar conforme os dados hidrológicos quando o obstáculo for um rio ou canal.

Fonte: Adaptado de Debs e Takeya (2003) *apud* Sartorti (2008)

2.2 VISTORIA TÉCNICA EM PONTES

Ao longo da sua vida útil, a estrutura fica suscetível a danos, devido a falhas nos projetos ou na execução, ou ainda por falta de procedimentos adequados de manutenção. Em estruturas danificadas, análises visuais e estimativas de consequências são recomendadas em um primeiro momento, antecedendo ao estudo completo da estrutura. Este estudo engloba o histórico da obra, e se possível o acesso a projetos da construção, para que por fim ocorram ensaios e análises aprofundadas sobre o problema (DÓREA *et al.*, 2010).

Santos (2013) afirma que com o passar do tempo da construção de uma ponte, a estrutura pode requerer intervenções diversas, tais como: obras de recuperação ou reparo, em casos de perda da integridade estrutural; reforço, devido a perda da capacidade resistente ou até mesmo aumento dos carregamentos móveis atuantes na estrutura e/ou do volume do tráfego de veículos pesados; e alteração estrutural, principalmente com alargamento e reforço da estrutura, para readequação de pontes antigas com as atuais classes de rodovia e de cargas móveis.

Segundo a NBR 9452 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto (ABNT, 2019), inspeções de estruturas de concreto armado são o conjunto de procedimentos que contém a coleta de dados necessários para elaboração de um diagnóstico e prognóstico da estrutura, com o objetivo de manter ou reestabelecer as características de segurança estrutural, de funcionalidade e de durabilidade. A norma também classifica as inspeções em:

- Inspeção cadastral: primeira inspeção da obra que deve ser feita logo após sua conclusão. Também deve ser feita em casos de alterações na configuração da construção (alargamento, reforço, aumento de comprimento, mudança de sistema estrutural);
- Inspeção rotineira: deve ocorrer periodicamente, em um prazo não superior a um ano, verificando-se a evolução de anomalias observadas em inspeções anteriores, bem como novos incidentes, reparos e/ou recuperações realizadas no período;
- Inspeção especial: é necessária que ocorra com uma periodicidade de cinco anos, sendo que nela contempla-se o mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis, para então ser formulado o diagnóstico e prognóstico da estrutura;
- Inspeção extraordinária: é motivada por acontecimentos como a necessidade de avaliação criteriosa de um elemento, ocorrência de impactos de veículos ou embarcações na obra, episódios de eventos da natureza (inundação, vendaval, sismo etc.).

De acordo com Vitório (2006), durante a inspeção de uma ponte, deve ocorrer uma observação minuciosa, com todas as devidas anotações, conforme roteiro adotado. É preciso averiguar a infraestrutura, mesoestrutura, superestrutura, acabamentos e acessos. Além disso, deverão ser feitas fotografias que irão compor o relatório final, ilustrando as anomalias encontradas na estrutura.

Após a execução da vistoria, é feito um relatório de terapia e projetos de reparo. Sendo que esse documento, conforme a NBR 9452:2019, necessita conter os seguintes itens:

- Diagnóstico: analisando cada anomalia e identificando seus nexos causais;
- Classificação da obra: segundo parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade, como estabelecido no quadro 2;
- Metodologia de recuperação: de todas as anomalias, bem como indicação de precisão de reformas e reforço;
- Análise estrutural: caso seja realizada, apresentação de resumo, além de memorial de cálculo;
- Conclusões e recomendações: com indicação de necessidade de eventuais relatórios complementares;
- Ficha-resumo: apresentando localização e descrição da obra, ensaios realizados, descrição das anomalias, parecer técnico e proposição de restauração e/ou reforço.

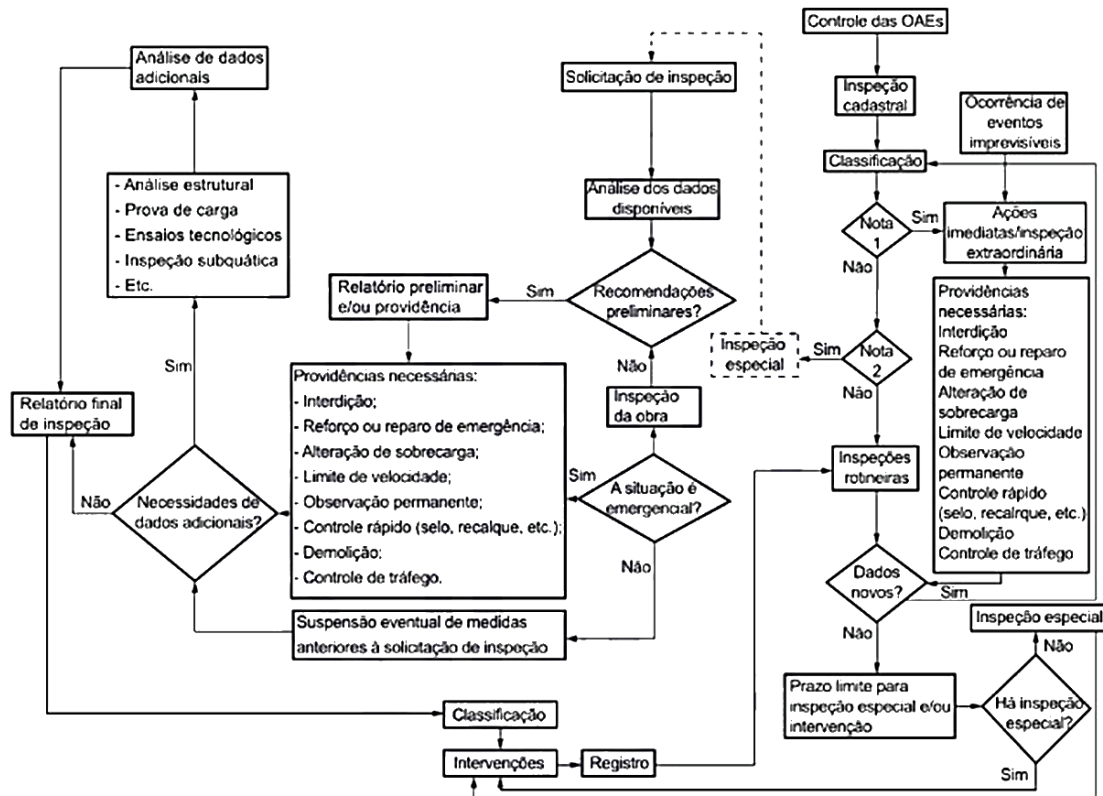
Quadro 2 – Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta 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 a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias que comprometem a sua vida útil, em região de moderada à alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE'S necessita de intervenções significativas a curto prazo.	A OAE com funcionalidade visivelmente comprometida com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta moderadas a muitas manifestações patológicas, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita de intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	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.

Fonte: NBR 9452 (2019)

Em síntese, o controle de inspeções de obras de arte segue o fluxograma indicado na figura 4. Sendo que durante o gerenciamento de uma ponte ocorre as fases de inspeção, coleta de informações por ensaios e prova de carga (quando necessário), avaliação de dados e análise estrutural, até o relatório final de inspeção para a tomada de decisões sobre ações de manutenção e correção.

Figura 4 – Fluxograma de gerenciamento da OAE



Fonte: NBR 9452 (ABNT, 2019)

Analisando o fluxograma da figura 4, nota-se que o sentido da seta “não” da figura de decisão “recomendações preliminares?” está invertida e deveria ser corrigida. Ademais, na figura de processo de “providências necessárias”, após a ocorrência de eventos imprevistos, deveria ser acrescentado a atividade de análise estrutural, principalmente porque a execução de qualquer reforço depende desse estudo.

Santos (2013) complementa que em alguns casos, especialmente em pontes construídas há muito tempo, os projetos originais podem não estar disponíveis. Por isso, para a realização de certas intervenções, faz-se necessário a realização de uma retroanálise. Essa metodologia pode incluir as seguintes etapas:

- Determinação das propriedades geométricas da estrutura, por meio de levantamento geométrico identificando: número de vãos e seus comprimentos, características dos

aparelhos de apoio da superestrutura, largura das pistas de rolamento e acostamento, dimensões dos passeios e guarda-corpos, dimensões da superestrutura, identificação dos elementos da infraestrutura;

- Determinação de propriedades físicas da estrutura, como resistência à compressão do concreto dos elementos estruturais, por meio de ensaios de amostras dos materiais;
- Identificação de danos e patologias na superestrutura e mesoestrutura;
- Criação de modelo teórico-numérico-experimental preliminar para previsão de deformações globais estáticas e dinâmicas, para locação de flexímetros e acelerômetros em campo;
- Análise experimental por meio de provas de carga estática e dinâmica da estrutura;
- Avaliação teórico-numérico-experimental, em conjunto com a correlação dos resultados teóricos e experimentais.

Assim, tendo como base os documentos já cadastrados de cada OAE e realizando as inspeções rotineiras, é possível identificar as particularidades de cada estrutura para determinar quais dessas etapas devem ser executadas no processo de readequação da construção ao longo de sua utilização.

2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Para Santos e Silva (2017), as causas das manifestações patológicas nas estruturas são as falhas estruturais. De acordo com os autores, estas podem ser classificadas em:

- Falhas congênitas: são aquelas que ocorrem devido a erros de projeto, estudos inadequados das condições do local da obra e inobservância das normas técnicas vigentes.
- Falhas adquiridas durante a construção: essas acontecem devido ao uso de material, equipamentos, métodos ou mão de obra imprópria, além de falhas na comunicação entre os diversos níveis envolvidos na construção (projetista, fornecedores, construtora, proprietário etc.).

Já Souza e Ripper (1998) classificam as causas de deterioração das estruturas de concreto em:

- Causas extrínsecas: independem do comportamento estrutural, composição do concreto ou processo de construção, sendo os fatores que atacam a estrutura “de fora para dentro” durante a vida útil desta (quadro 3).

- Causas intrínsecas: processos de desgaste inerentes da própria estrutura de concreto, compreendidas como elementos físicos, ou seja, as causas que têm origem nos materiais na fase de execução e/ou utilização das obras (quadro 4).

Quadro 3 - Causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto

CAUSAS EXTRÍNECAS	FALHAS HUMANAS DURANTE O PROJETO	Modelagem inadequada da estrutura Má avaliação das cargas atuantes Detalhamento errôneo ou insuficiente Inadequação ao ambiente Incorreção na interação solo-estrutura Incorreção na consideração de juntas de dilatação
	FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO	Alterações estruturais Sobrecargas exageradas Alterações nas condições do terreno de fundação
	AÇÕES MECÂNICAS	Choques de veículos Recalque de Fundações Acidentes (ações imprevisíveis)
	AÇÕES FÍSICAS	Variação de temperatura Insolação Atuação da água
	AÇÕES QUÍMICAS	
	AÇÕES BIOLÓGICAS	

Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (1998)

Quadro 4 – Causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto (continua)

CAUSAS INTRÍNECAS	FALHAS HUMANAS DURANTE A CONSTRUÇÃO	DEFICIÊNCIAS DE CONCRETAGEM	Transporte Lançamento Juntas de concretagem Adensamento Cura
		INADEQUAÇÃO DE ESCORAMENTOS E FORMAS	
		DEFICIÊNCIAS NAS ARMADURAS	Má interpretação dos projetos Insuficiência de armaduras Mau posicionamento das armaduras Cobrimento de concreto insuficiente Dobramento inadequado das barras Deficiências nas ancoragens Deficiências nas emendas Má utilização de anticorrosivos
		UTILIZAÇÃO INCORRETA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	f_{ck} inferior ao especificado Aço diferente do especificado Solo com características diferentes Utilização de agregados reativos

Quadro 4 – Causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto (continuação)

CAUSAS INTRÍSECAS			Utilização inadequada de aditivos Dosagem inadequada do concreto
		INEXISTÊNCIA DE CONTROLE DE QUALIDADE	
	FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO (ausência de manutenção)		
	CAUSAS NATURAIS	CAUSAS PRÓPRIAS À ESTRUTURA POROSA DO CONCRETO	
		CAUSAS QUÍMICAS	Reações internas ao concreto Expansibilidade de certos constituintes e o cimento Presença de cloretos Presença de ácidos e sais Presença de anidrido carbônico Presença de água Elevação da temperatura interna do concreto
		CAUSAS FÍSICAS	Variação de temperatura Insolação Vento Água
		CAUSAS BIOLÓGICAS	

Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (1998)

Além dessas classificações, as estruturas de concreto armado podem apresentar manifestações patológicas mais específicas, conforme descrito a seguir.

2.3.1 Corrosão das Armaduras do Concreto

Segundo Helene (1993), corrosão é o fenômeno que pode ser descrito como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, como resultado de reações de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de degradação. O autor cita como efeitos degenerativos da corrosão: fissuras, destacamento do concreto de cobrimento, redução da seção transversal resistente, frequente seccionamento de estribos, redução e eventual perda de aderência das armaduras principais.

Assim, a vida útil da estrutura de concreto armado pode ser reduzida. Por isso são necessárias precauções quanto a qualidade de concreto, com especificações adequadas às condições ambientais expostas, como: relação água/cimento, tipo de cimento, cura, cobrimento e até mesmo aditivos. Esses cuidados são fundamentais para evitar contaminações ou deteriorações do concreto, já que isso causa a desproteção da armadura, tornando-a suscetível a corrosão (FREIRE, 2005).

2.3.2 Fissuração

No concreto sempre há o surgimento de microfissuras, em especial no entorno do agregado. A fissuração tem como principais causas a retração acelerada do concreto e as tensões de tração geradas por solicitações atuantes. Como consequência, as fissuras trazem efeitos prejudiciais como: defeitos estéticos, sensação de insegurança, e acesso de contaminantes junto às armaduras devido a penetração de ar e água (ANDOLFATO, 2002).

Helene (2014) afirma que o concreto armado pode fissurar por diversas razões. Porém, as fissuras devido à atuação de cargas são as únicas passíveis de serem controladas através do cálculo estrutural. A abertura máxima dessas fissuras é definida a partir de exigências estéticas, de desempenho quanto à impermeabilização a entrada de fluídos e a durabilidade da armadura.

Porém, o autor também ressalta que projetar uma estrutura de modo que a máxima deformação do aço à tração não ultrapasse a correspondente deformação máxima de ruptura à tração do concreto, gera desperdício da capacidade resistente das armaduras, levando ao aumento de custos da estrutura. Por isso, a fissuração, em geral, é evitada apenas em obras de concreto protendido (pela inserção de uma compressão ao concreto) ou em obras especiais de contenção de líquidos agressivos.

Dependendo do grau de abertura no concreto, pode haver uma diferença conceitual entre fissuras, trincas, rachaduras, fendas e brechas. Oliveira (2012) apresenta a seguinte classificação:

- Fissura: apresentam abertura de até 0,5 mm;
- Trinca: apresentam abertura entre 0,5 a 1,5 mm;
- Rachadura: apresentam abertura entre 1,5 a 5,0 mm;
- Fenda: apresentam abertura entre 5,0 a 10,0 mm;
- Brecha: apresentam abertura acima de 10,0 mm.

2.3.3 Desagregações

A desagregação é a separação física de placas ou fatias de concreto, com a perda de monolitismo, além de possíveis perdas de engrenamento entre os agregados e da função ligante do cimento. Como resultado, o elemento de concreto com seções desagregadas perde a capacidade de resistir aos esforços solicitantes, seja localmente ou globalmente (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo o DNIT (2004), o fenômeno de desagregação surge na superfície das estruturas, por meio de uma mudança de coloração, levando a aparição de fissuras entrecruzadas. Essas fissuras ocorrem por causa do aumento de volume do concreto, devido ao empolamento das camadas externas. Por fim, acontece a desintegração da massa de concreto. Os motivos mais comuns das desagregações são: presença de sulfatos e cloretos; uso de cimento inadequado a agressividade ambiental; concreto produzido com aditivos com excesso de cloreto; e etapa de adensamento malfeita.

2.3.4 Disgregações

Diferentemente da desagregação, a disgregação é consequência de fenômenos físicos, tais como solicitações internas que provocam fortes trações localizadas e sobrecargas anormais, provocando substanciais deformações nos elementos estruturais; entretanto, um dos motivos mais frequentes de disgregações é a corrosão de armaduras, onde a grande pressão exercida pela camada expansiva do óxido de ferro provoca um forte estado de tensões no concreto, suficiente para fraturá-lo (DNIT, 2004). Souza e Ripper (1998) apontam que a expansão volumétrica das barras de aço, devido a corrosão, pode causar um aumento igual a dez vezes seu volume original.

A disgregação do concreto se caracteriza por rupturas do mesmo, especialmente em zonas salientes das peças; o concreto disgregado é um concreto sã, que conserva suas boas características de origem, mas que foi incapaz de suportar as solicitações anormais a que foi submetido (DNIT, 2004).

2.3.5 Reação Álcali-agregado

A reação álcali-agregado (RAA) é o processo químico em que alguns componentes dos agregados reagem com hidróxidos alcalinos que estão presentes na solução dos poros do concreto. O produto desse processo é um gel higroscópico extremamente expansivo. Os tipos de construções mais afetadas pela RAA são estruturas hidráulicas (barragens e adutoras), obras de pavimentação, fundações de edifícios e outros pontos em contato direto com o lençol freático (NÓBREGA, 2008).

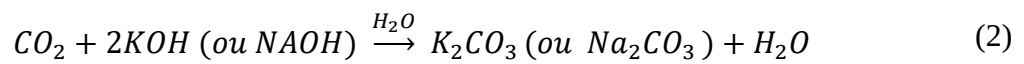
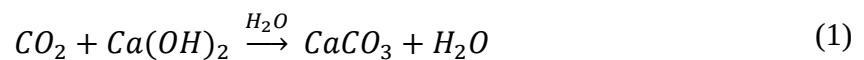
Como a reação resulta em expansão do material, ocorre a formação de tensões internas no concreto, que por sua vez causam fissurações que permitem a entrada de agentes agressivos acarretando a deterioração da estrutura. As principais evidências desta manifestação patológica são: fissuras em forma de mapa, gel esbranquiçado nos poros do concreto, descolamento dos

grãos do agregado, coloração característica no entorno das bordas dos grãos do agregado, queda de resistência e módulo de elasticidade do concreto (COSTA, 2016).

2.3.6 Carbonatação

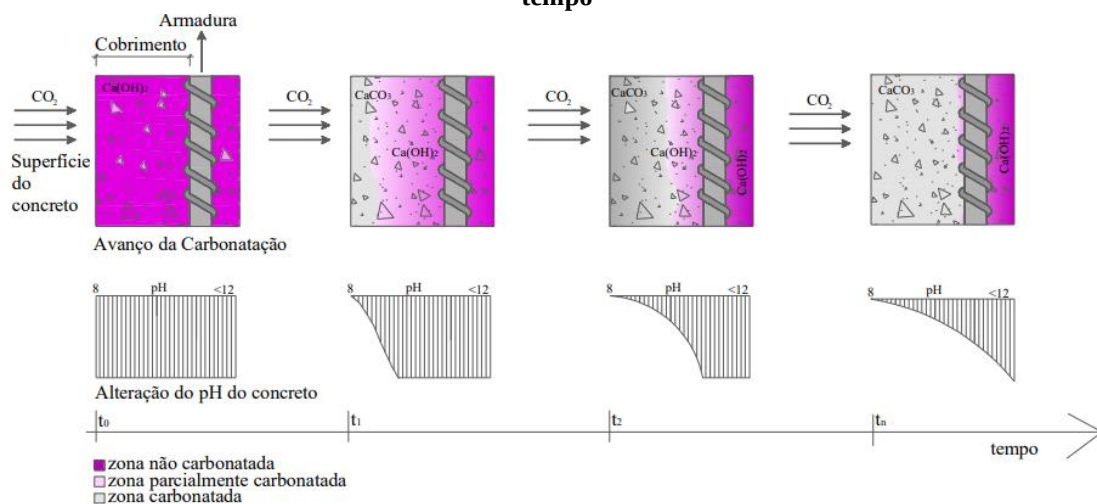
A carbonatação é um fenômeno oriundo da reação físico-química dos compostos hidratados do cimento e o gás carbônico (CO_2) da atmosfera, que resulta na redução do pH de materiais cimentícios. O avanço da frente de carbonatação está diretamente conectado à facilidade em que o CO_2 consegue se espalhar pelo interior do concreto, às condições ambientais e às propriedades do concreto (PAULETTI *et al.*, 2007).

Ao penetrar no concreto, o gás carbônico reage com os hidróxidos presentes nele: hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), de sódio (NaOH) e de potássio (KOH). Segundo Bakker (1988, *apud* POSSAN, 2004), os produtos dessa reação (Equações 1 e 2) reduzem o pH do concreto de valor igual ou superior a 12,5 para um valor igual ou inferior a 9,0.



Essa redução de alcalinidade do concreto, resulta na alteração das condições de estabilidade química (ver figura 5) da película passivante da armadura, criando condições propícias para o início do processo corrosivo. Quando o processo de carbonatação chega às proximidades da armadura, ela se torna desprotegida e fica suscetível a corrosão (POSSAN, 2010).

Figura 5 – Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto ao longo do tempo



Fonte: Possan (2010)

2.4 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Evangelista (2002) conceitua ensaios não destrutivos (ENDs) como os ensaios técnicos que não causam nenhum dano a peça ensaiada ou deixam pequenos danos que podem ser reparados após os ensaios. Em resumo, são os ensaios que não causam perda de capacidade resistente do elemento estrutural, por isso, esses ensaios podem ser empregados nas diversas etapas construtivas de uma edificação, como:

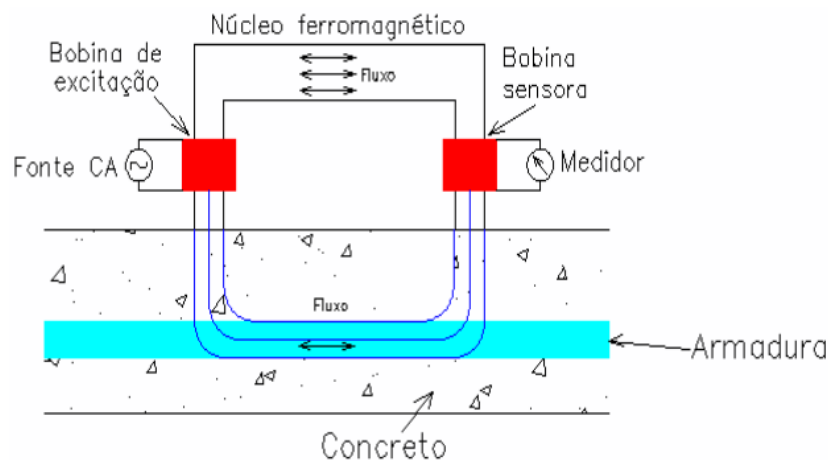
- Verificação da qualidade do concreto e sua uniformidade;
- Monitoramento da evolução da resistência;
- Análise e monitoramento da deterioração do concreto ao longo do tempo;
- Avaliação da durabilidade da estrutura;
- Fornecimento de informações para a readequação da construção.

2.4.1 Ensaio de Pacometria

De acordo com Soeiro *et al.* (2018), o ensaio de pacometria é utilizado principalmente para conferir a posição das armaduras nos elementos estruturais. Além de ser possível fazer o mapeamento de diversas características como diâmetro, quantidade e cobertura das barras.

O princípio de funcionamento do pacômetro é o eletromagnetismo. O aparelho cria um campo magnético de baixa frequência que interage com as armaduras. Assim, ocorre a leitura eletromagnética de barras de aço, conforme mostra a figura 6.

Figura 6 – Esquema de Funcionamento do Pacômetro



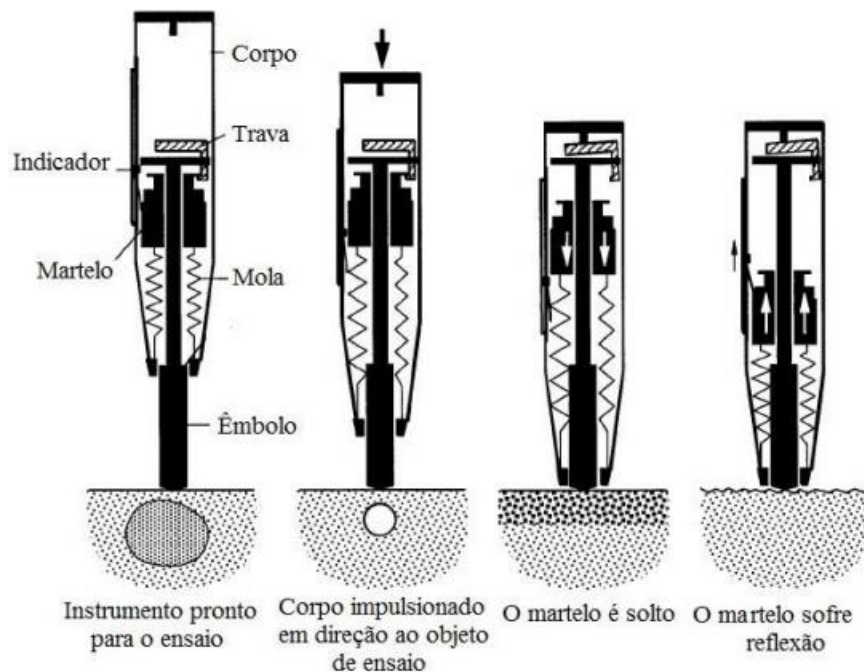
Fonte: Carmo (2009)

2.4.2 Ensaio de Esclerometria

A ABNT NBR 7584 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio (ABNT, 2012) define ensaio de esclerometria ou esclerométrico como o método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido.

Segundo Palacios (2012), este ensaio consiste em impactar uma superfície de concreto de maneira padronizada, com uma dada energia de impacto, e, em seguida, medir o rebote ou a reflexão de uma massa padrão por meio do esclerômetro de reflexão (figura 7).

Figura 7 – Diagrama de operação do esclerômetro de reflexão



Fonte: Palacios (2012)

Castro (2009) afirma que esse ensaio fornece uma boa avaliação da uniformidade do concreto em uma estrutura, além de poder acompanhar o ganho de resistência desse material ao longo do tempo. Porém, a técnica de esclerometria gera apenas uma estimativa da resistência com base em curvas de correlação entre o equipamento e a composição do concreto. Por isso, o ensaio de resistência à compressão não deve ser substituído pelo ensaio de esclerometria.

2.4.3 Ensaio de Ultrassom

O ensaio de ultrassom ou ultrassônico tem o propósito de apontar imperfeições ou falhas de continuidade interna em vários tipos de materiais. Tais defeitos podem originar do próprio processo de produção ou durante a utilização do elemento estrutural.

Segundo Lorenzi *et al.* (2003), o método ultrassônico é baseado na propagação de ondas sonoras de alta frequência pelo material analisado. O princípio desse método é a projeção do som para dentro do material, medindo o tempo de propagação de um ponto a outro. Assim, conhecendo a distância entre os pontos é possível o cálculo da velocidade média da onda sonora. Sendo que a velocidade dessas ondas sofre variação conforme a presença de discontinuidades, como quantidade de poros ou vazios. Deste modo, quanto maior a velocidade da onda, maior a compacidade do concreto.

2.5 ANÁLISE ESTRUTURAL

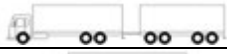
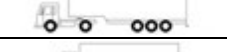
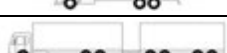
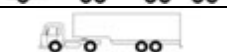
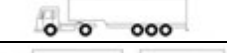
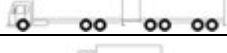
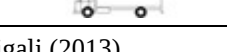
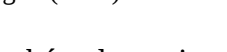
2.5.1 Ações Atuantes nas Pontes

As ações que podem atuar em uma ponte apresentam diversas características, como a forma de atuação e a intensidade. Segundo a NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento (ABNT, 2003), essas ações são classificadas como:

- Ações permanentes: são as que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação, durante toda a vida útil da construção (peso próprio da estrutura, pavimentação, barreiras de proteção, passeios para pedestre, guarda-corpo e outros elementos permanentemente ligados a estrutura);
- Ações variáveis: são as que ocorrem com valores que apresentam grande variação em torno de sua média, durante a vida da construção. Delas fazem parte as cargas móveis que são as ações variáveis que atuam nas construções em função de seu uso (pessoas, veículos etc.);
- Ações excepcionais: são as que tem duração extremamente curta e de baixa probabilidade de ocorrência, durante a vida da construção (explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais).

A carga accidental para pontes rodoviárias brasileiras, definida como carga móvel rodoviária padrão TB-450 é apresentada na NBR 7188 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas (ABNT, 2013). Ela é definida por um veículo tipo de 450 kN com seis rodas (75 kN por roda). Os três eixos de carga são afastados entre si em 1,5 m, com área de ocupação total de 18 m² (figura 8). Além disso, esse veículo é circundado por uma carga uniformemente distribuída constante com intensidade de 5 kN/m² (figura 9).

Tabela 1 – Pesos totais medidos dos veículos pelas balanças seletiva e lenta

Registro	Classe	Silhueta do veículo	Peso (kN) nas balanças		Diferença
			Seletiva	Lenta	
1	3D4		571,58	578,1	-1,13%
2	2S3		413,72	412,3	0,34%
3	3C		195,77	205,8	-4,87%
4	3S3		479,46	474,2	1,11%
5	3C		204,29	210,9	-3,13%
6	3D4		561,53	578,7	-2,97%
7	2S2		222,62	228,8	-2,70%
8	3C		214,01	227,3	-5,85%
9	2S3		415,29	410,4	1,19%
10	3D4		578,05	583,5	-0,93%
11	2CC		65,59	63,1	3,95%

Fonte: Adaptado de Rossigali (2013)

A NBR 7188:2013 também determina que no dimensionamento de todos os elementos estruturais, as cargas móveis, com exceção dos passeios das pontes, devem ser majoradas pelos coeficientes de impacto vertical (CIV), de número de faixas (CNF) e de impacto adicional (CIA).

O CIV atua na amplificação do carregamento estático a fim de simular as ações da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores. Para vãos menores de 10 m tem-se $CIV = 1,35$ e para os casos de vãos entre 10 e 200 m o coeficiente é obtido através da equação 3.

$$CIV = 1 + 1,06 * \left(\frac{20}{Liv + 50} \right) \quad (3)$$

Onde Liv é o vão em metros para o cálculo do CIV, conforme o tipo de estrutura. Segundo a NBR 7188:2013, para estruturas com vãos acima de 200 m, deve ser realizado estudo específico para a consideração da amplificação dinâmica e definição do CIV. Em todo caso, o uso desse coeficiente não dispensa a necessidade de análise dinâmica na estrutura nos casos em que a frequência natural da estrutura é próxima da frequência das cargas dinâmicas.

O CNF representa a probabilidade de a carga móvel ocorrer em função do número de faixas (n), com exceção as faixas de segurança e acostamento, e é obtido através da equação 4.

$$CNF = 1 - 0,05 * (n - 2) > 0,9 \quad (4)$$

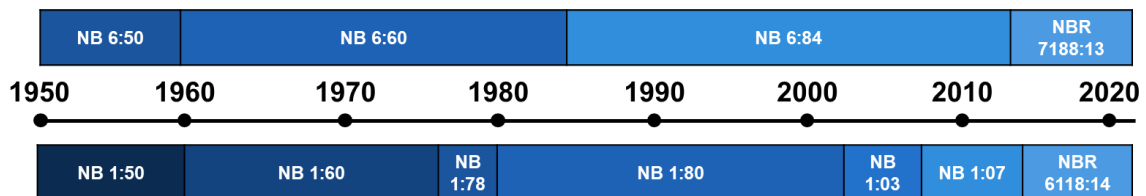
Por fim, o CIA visa ajustar a carga móvel característica a imperfeições e/ou descontinuidades na pista de rolamento, estruturas de transição e acessos. Para obras em concreto ou mistas e em obras em aço, o coeficiente é igual a 1,25 e 1,15, respectivamente.

Destaca-se que embora o veículo padrão apresentado na NBR 7188:2013 seja idêntico ao apresentado na versão anterior da norma (NBR 7188:1982), a majoração das cargas móveis está mais criteriosa, uma vez que a majoração era definida apenas por um coeficiente de amplificação único dado pela equação 5, em que L é igual ao comprimento do vão em metros.

$$\varphi = 1,4 - 0,007 L \quad (5)$$

Para análises de pontes mais antigas, algumas diretrizes das normas vigentes à época podem ser diferentes das atuais e por esta razão nos cálculos referentes a situação de projeto deve-se verificar as diretrizes vigentes, esse procedimento é denominado de retroanálise. A figura 10 ilustra as atualizações nas normas brasileiras de cálculo estrutural de concreto (NB 1, NBR 6118) e cargas rodoviárias (NB 6, NBR 7188) desde o ano de 1950 até os dias atuais.

Figura 10 – Atualização das normas de cálculo estrutural



Fonte: A autora (2020)

2.5.2 Linhas de Influência

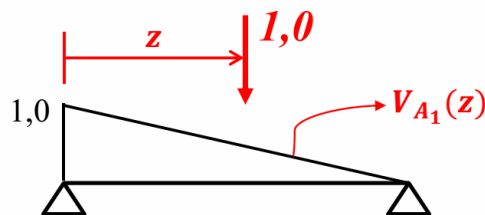
De acordo com Albuquerque (2014), os carregamentos móveis das pontes variam tanto em intensidade como em localização, o que resulta em efeitos diversificados na estrutura. Por isso, se faz necessária a verificação de várias combinações de ações para o cálculo dos esforços solicitantes, considerando-se variadas posições para a carga móvel na estrutura.

Assim sendo, deve-se analisar cada efeito a ser considerado (deslocamentos, esforços internos e tensões) em cada seção transversal. Deve-se identificar as posições mais desfavoráveis do trem-tipo, além das posições para o carregamento que eventualmente provoquem alívio das solicitações na seção analisada. Esse procedimento de análise pode ser realizado através das linhas de influência para pórticos e vigas, e das superfícies de influência para placas e lajes (PINTO JÚNIOR, 2006).

Segundo Sussekind (1981), a linha de influência de um efeito elástico E em uma dada seção S é a representação gráfica ou analítica do valor desse efeito produzido por uma carga concentrada unitária, de cima para baixo, que percorre a estrutura.

Como exemplo, considere uma carga móvel unitária, que desloca por uma viga biapoiada (figura 11), sendo z a posição dessa carga e V_A , a reação de apoio da esquerda. A linha de influência da reação $V_{A1}(z)$ descreve sua variação em função da posição da carga unitária.

Figura 11 – Linha de influência da reação de apoio de viga biapoiada



Fonte: A autora (2020)

2.5.3 Estados Limites e Combinações de Ações

A NBR 8681:2003 define como estados limites de uma estrutura os estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção. Essa norma classifica os estados limite em:

- Estados Limite Últimos (ELU): estados que determinam a paralisação, no todo ou em parte, do uso de uma construção. São caracterizados por perda de equilíbrio (global ou parcial) admitida a estrutura como corpo rígido, ruptura ou deformação plástica excessiva, transformação da estrutura (no todo ou parte), e instabilidade por deformação ou dinâmica.
- Estados Limites de Serviço (ELS): estados que por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura. São caracterizados por danos ligeiros ou localizados, deformações excessivas que afetam utilização normal da construção, e vibração excessiva ou desconfortável.

Segundo a NBR 8681:2003, carregamentos são combinações de ações. No Estado Limite Último, as combinações podem ser normais, especiais ou de construção e excepcionais.

Já no Estado Limite de Serviço, as combinações podem ser quase permanentes, frequentes e raras.

Nas combinações últimas normais (equação 6) são consideradas apenas as ações permanentes (G) e variáveis (Q), majoradas por um coeficiente (γ). Considerando-se a possibilidade de diversas ações variáveis atuarem na estrutura, porém com o valor característico ocorrendo em instantes de tempo distintos, deve-se considerar uma das variáveis como principal e as demais como secundárias, as quais devem ser multiplicadas por um fator de combinação (ψ).

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{G_i} F_{G_i} + \gamma_q \left[F_{Q_{1,k}} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Q_{j,k}} \right] \quad (6)$$

Nas combinações últimas especiais ou de construção (equação 7) também são consideradas apenas as ações permanentes (G) e variáveis (Q), majoradas por um coeficiente (γ). Nesta combinação, o fator de combinação (ψ) pode ser igual ao fator ψ_{0j} adotado nas combinações normais, ou ψ_{2j} quando a ação principal F_{Q1} tiver um tempo de atuação muito pequeno.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{G_i} F_{G_i} + \gamma_q \left[F_{Q_{1,k}} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j,ef} F_{Q_{j,k}} \right] \quad (7)$$

Nas combinações últimas excepcionais (equação 8) são consideradas as ações excepcionais (E), além das ações permanentes (G) e variáveis (Q) majoradas por um coeficiente (γ). Todas as ações variáveis que atuarem na estrutura devem ser multiplicadas por um fator de combinação (ψ) igual ao adotado nas combinações especiais.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{G_i} F_{G_i} + F_{Q_{exc}} + \gamma_q \sum_{j=1}^n \psi_{0j,ef} F_{Q_{j,k}} \quad (8)$$

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos:

- Revisão bibliográfica: determinando o referencial teórico para a caracterização de ações atuantes em pontes, estados limites e combinações de ações, além da conceituação e descrição de manifestações patológicas, inspeções de pontes e viadutos, ensaios técnicos, e análises necessárias para readequação de estruturas;
- Anamnese junto ao DNIT: buscando informações da ponte, como data de construção, projeto arquitetônico, sistema construtivo, atividades de manutenção e relatório de inspeção rotineira;
- Inspeção da ponte: por meio de vistoria técnica com o objetivo de confirmar informações obtidas no registro do DNIT em sua última inspeção rotineira, sendo feita a averiguação da estrutura, dos acabamentos e dos acessos para identificação das manifestações patológicas visíveis, além de registros fotográficos;
- Análise estrutural utilizando modelo numérico: criação de modelo estrutural em elementos finitos para avaliação da estrutura com o *software* SAP2000. Considerando-se duas situações de cálculo: uma com as normas brasileiras atualmente vigentes e outra com as normas brasileiras vigentes na época de construção da ponte;
- Realização de ensaios não destrutivos: por meio de visita técnica durante a execução da obra de recuperação da ponte, que fornece os elementos necessários para se alcançar a superestrutura. A execução dos ENDs visa mapear as armaduras por meio do ensaio de pacometria, além de estimar as propriedades físicas da estrutura, como dureza superficial do concreto por meio do ensaio de esclerometria;
- Classificação da ponte segundo a NBR 9452:2019: de acordo com as inspeções realizadas e ensaios não destrutivos executados.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 LOCAL DE ESTUDO

Neste trabalho será analisada a Ponte sobre o Rio das Pedras (figura 12), localizada na BR-235, km 41, próxima a comunidade de Rio das Pedras. Essa ponte pertence a uma rodovia federal que interliga os municípios de Itabaiana e Areia Branca.

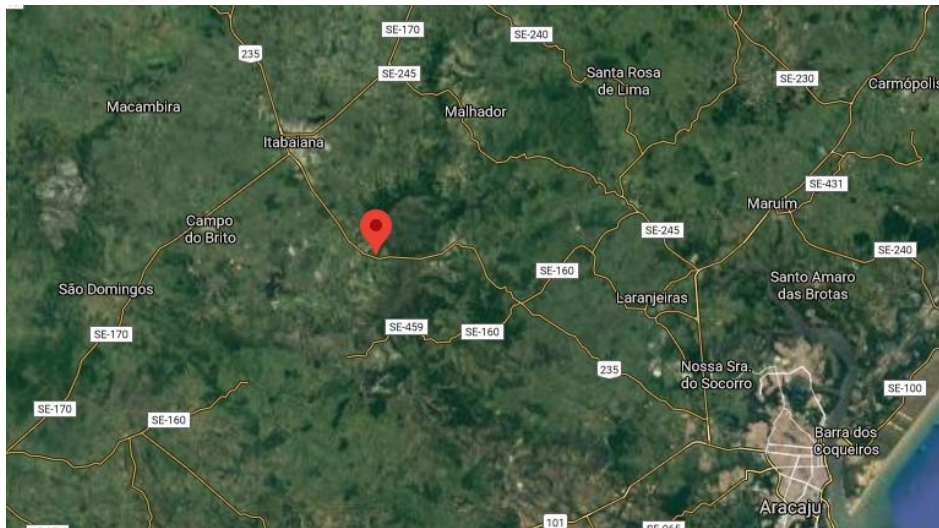
Figura 12 – Ponte sobre o Rio das Pedras



Fonte: A autora (2019)

Em caso de interdição ou mesmo colapso da estrutura, a rota alternativa entre Aracaju e Itabaiana seria pela rodovia SE-245 (figura 13), via a cidade de Malhador, causando um acréscimo de 12,1 km no trajeto.

Figura 13 – Localização da Ponte sobre o Rio das Pedras



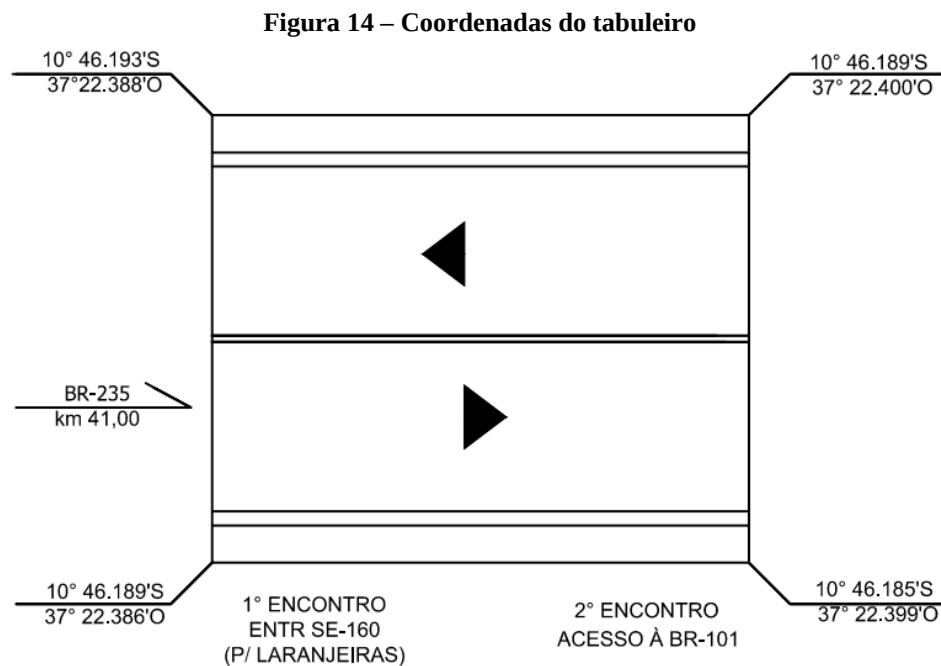
Fonte: A autora (2019)

A OAE foi construída em 1972 e atualmente é administrada pelo DNIT. Em 2019, foi classificada pelo órgão como *Problemática* (nota 2, segundo a NBR 9452:2019). Essa situação deve-se ao fato de terem sido encontradas uma série de manifestações patológicas em uma inspeção rotineira realizada em março do mesmo ano (Anexo I). Então, a estrutura foi submetida a serviços de manutenção a partir do mês de agosto de 2020.

Esse cenário permitiu o desenvolvimento deste trabalho em paralelo a diversas fases realizadas pelo DNIT, como inspeção e execução dos serviços de reparo da estrutura. Por estas razões, esta OAE foi escolhida como estudo de caso.

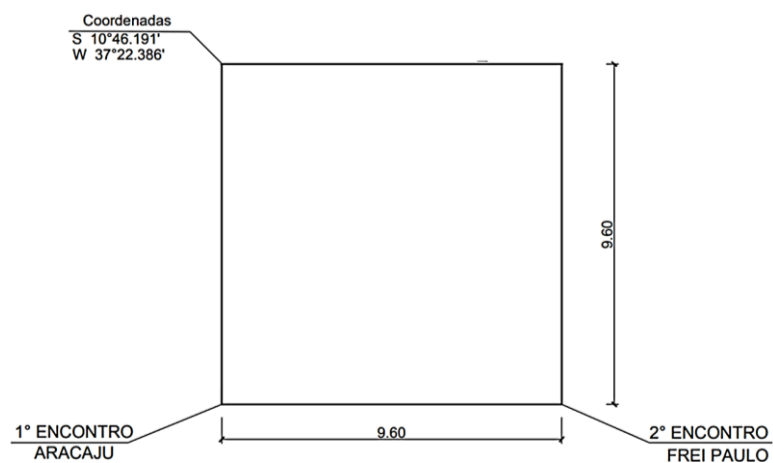
4.2 IDENTIFICAÇÃO ESTRUTURAL

A ponte é composta por elementos de concreto armado, sendo eles: laje, vigas longarinas, vigas transversinas, guarda corpo e guarda rodas. Além disso, a OAE possui pavimento asfáltico, juntas de dilatação e aterro de acesso. Nas figuras 14 a 17 são apontadas as dimensões geométricas da estrutura, que foram cadastradas pelo DNIT por meio de inspeção em março de 2019. Essas medidas foram confirmadas em vistoria realizada pela autora em 10 de dezembro de 2019, com exceção apenas nas larguras das longarinas que não são iguais a 40 cm conforme apresentado, sendo iguais a 30 cm.



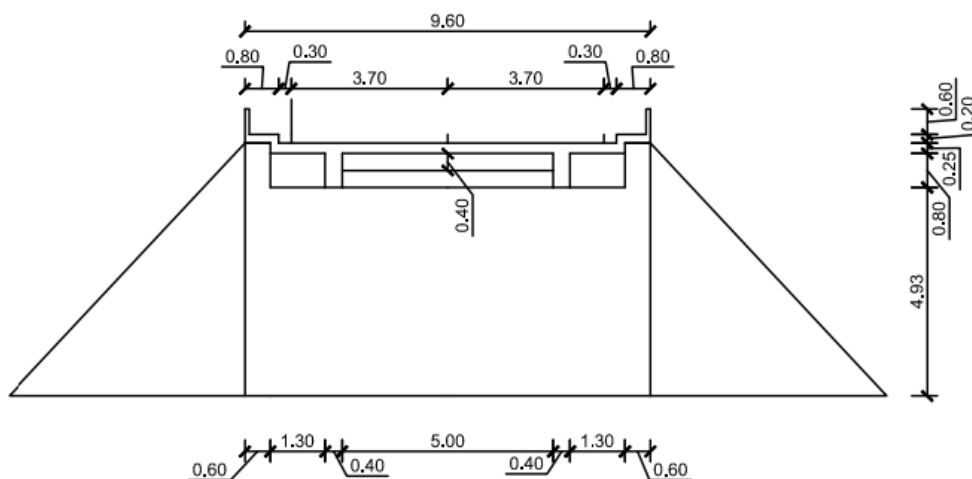
Fonte: DNIT (2019)

Figura 15 – Estrutura inferior da ponte



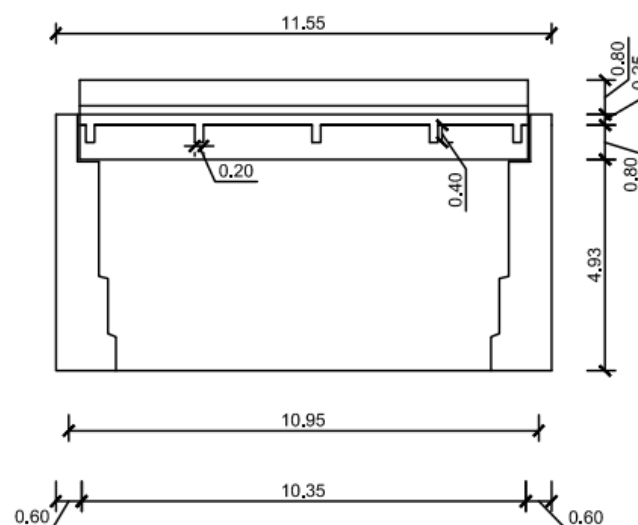
Fonte: DNIT (2019)

Figura 16 – Corte transversal da ponte



Fonte: DNIT (2019)

Figura 17 – Corte longitudinal da ponte



Fonte: DNIT (2019)

4.3 VISTORIA TÉCNICA

A fim de possibilitar a análise e identificação dos vícios construtivos e demais manifestações patológicas existentes na estrutura, a ponte foi vistoriada no dia 10 de dezembro de 2019.

Como mostra a figura 18, foram verificadas várias regiões com armaduras expostas e com indícios de corrosão, principalmente na face inferior das lajes dos passeios, além de regiões com ausência de cobrimento das armaduras transversais. Na face superior desses elementos foi observada a presença de rachaduras longitudinais (figura 19), provavelmente causadas pelas tensões geradas no concreto devido a formação de produtos expansivos no processo de corrosão das armaduras de aço.

Figura 18 – Armaduras expostas e corroídas



Fonte: A autora (2019).

Figura 19 – Rachaduras no passeio



Fonte: A autora (2019)

Um dos encontros apresenta uma zona significativa de desagregação (figura 20). Nessa região foi possível identificar os constituintes do concreto, o qual possui como agregado graúdo o seixo rolado. Além disso, os agregados superficiais estavam praticamente soltos, sendo possível a retirada com muita facilidade, ou seja, nitidamente o elemento apresentava baixa resistência. Britto (2015) afirma que concretos fabricados com brita granítica apresentam, aos 28 dias, resistência a compressão simples cerca de 30% maior que concretos com seixo rolado. Por isso, as britas são mais utilizadas em estruturas que requerem maior resistência, fazendo com que o seixo entrasse em desuso na construção de pontes nos últimos anos.

Figura 20 – Desagregação do concreto



Fonte: A autora (2019)

Outro problema observado, e de maior destaque, foi uma rachadura do tabuleiro até a viga transversina na extremidade da ponte (figura 21). Próxima a essa manifestação patológica, foi observado um deslocamento vertical significativo da viga longitudinal (figura 22).

Figura 21 – Rachadura na laje e transversina



Fonte: A autora (2019)

Figura 22 – Deslocamento vertical da longarina



Fonte: A autora (2019)

Também foi identificado que os encontros da ponte eram formados por três partes isoladas: um elemento principal, logo abaixo da viga transversina da extremidade, e dois elementos laterais. Ao longo do tempo, essa disposição culminou na ocorrência de deslocamentos das peças laterais como mostrado na figura 23. Tamañha a instabilidade desses elementos, com o passar do tempo, um deles caiu (figura 24).

Figura 23 – Deslocamento do encontro



Fonte: A autora (2019)

Figura 24 – Contenção do encontro caída



Fonte: A autora (2019)

Na parte inferior de um dos encontros, notou-se alguns pontos de infiltração (figura 25) que causaram a exposição de britas devido a percolação da água.

Figura 25 – Percolação de água no encontro



Fonte: A autora (2019)

Os guarda-corpos estavam bastante danificados (figura 26), com os elementos sem prumo e sem alinhamento e com áreas de deslocamento de concreto. Além disso, esses componentes apresentavam fixação falha ao passeio, em alguns pontos havia arames para amarração (figura 27).

Figura 26 – Deterioração do guarda corpo



Fonte: A autora (2019)

Figura 27 – Amarração no guarda-corpo



Fonte: A autora (2019)

Por fim, identificaram-se nos encontros da ponte manchas de umidade ao longo das paredes (figura 28).

Figura 28 – Manchas de umidade



Fonte: A autora (2019)

4.4 ANÁLISE ESTRUTURAL DA PONTE

Para a análise estrutural da ponte estudada, foi utilizado o *software* SAP2000 (v.21 – *evaluation*). Esse programa foi desenvolvido pela Computers & Structures, Inc. (CSI), uma empresa estadunidense de *softwares* de engenharia estrutural fundada em 1975. O nome SAP é uma sigla para Structural Analysis Program (Programa de Análise Estrutural). Sua modelagem gráfica é baseada em objetos 3D e permite a criação de modelos complexos para análise estrutural estática e dinâmica, linear e não-linear por elementos finitos.

Admitiram-se dois cenários nessa análise, sendo eles:

- Situação de projeto: utilizando como parâmetro as normas brasileiras vigentes na época de execução da ponte (NB 1:1960 e NB 6:1960);
- Situação atual: utilizando como parâmetro as normas brasileiras vigentes atualmente (NBR 7188:2013, NBR 8681:2003 e NBR 6118:2014).

4.4.1 Ações Consideradas

Consideraram-se como ações atuantes na estrutura:

- Ações permanentes: peso próprio da estrutura (G_1), peso do pavimento aplicado sobre a laje (G_2), peso do passeio (G_3) e guarda corpo (G_4);
- Ações variáveis: trem-tipo vigentes em cada situação (TB_{450} e TB_{360}), que incluem carga de veículo ($Q_{veículo}$) e cargas de multidão (Q_1 e Q_2) e cargas de passeio;

- Ações excepcionais: deslocamento prescrito (e).

Ressalta-se que a NBR 7187 – Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento (ABNT, 2003) determina que deslocamentos de apoio devem ser considerados como uma ação permanente e, portanto, prevista em projeto. Marchetti (2013) afirma que, para efeito de cálculo, o recalque (δ) pode ser adotado como uma fração do comprimento do maior tramo da ponte (L), conforme a equação 9.

$$\delta = \frac{L}{5000} \quad (9)$$

Assim, o deslocamento considerado na Ponte sobre o Rio das Pedras seria de 1,92 mm. Como apresentado na figura 22, o recalque presente na extremidade de uma das longarinas é dezenas de vezes maior, sendo uma situação atípica e de baixa probabilidade de ocorrência, sendo coerente considerá-lo como uma ação excepcional.

Destaca-se que as cargas permanentes dos elementos modelados (lajes, longarinas e transversinas) são calculadas automaticamente pelo programa. Já o peso do guarda corpo foi calculado de acordo com as características apresentadas no Anexo II e aplicado como carga distribuída linearmente na borda do passeio. Os valores de todas as ações consideradas são resumidos na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Ações atuantes na ponte

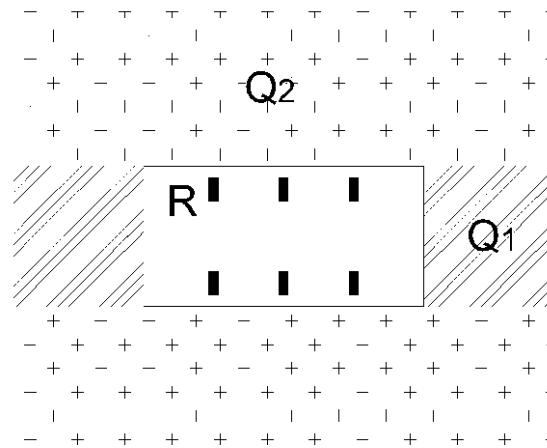
Ações		Valor	
Permanentes	G_1	25 kN/m ³	
	G_2	24 kN/m ³ com espessura de 10 cm	
	G_3	25 kN/m ³	
	G_4	0,95 kN/m	
Excepcionais	E	10 cm	
Variáveis	$Q_{veic,2013}$	450 kN	75 kN/roda
	$Q_{veic,1960}$	360 kN	60 kN/roda
	$Q_{1,2013}^*$	5 kN/m ²	
	$Q_{2,2013}^{**}$	5 kN/m ²	
	$Q_{1,1960}^*$	5 kN/m ²	
	$Q_{2,1960}^{**}$	3 kN/m ²	

* Na frente e atrás do trem-tipo (ver figura 29)

** No restante da pista (ver figura 29)

Fonte: A autora (2020)

Figura 29 – Carregamento do trem-tipo lançados no SAP2000



Fonte: A autora (2020)

4.4.2 Combinações de Ações Consideradas

Em cada cenário apresentado, foram usadas as combinações últimas normais e excepcionais, conforme equações 6 e 8.

Para a situação de projeto, segundo a NB 1:1960, os coeficientes de majoração para peças calculadas em função da carga de ruptura são iguais a:

- 1,65 para todas as cargas permanentes, para as cargas acidentais definidas na NB 5:1961 e para os esforços devido à retração e à variação de temperatura;
- 2,00 para as demais cargas acidentais.

Além disso, para Ponte sobre o Rio das Pedras, com vão de 9,6 m, o coeficiente de amplificação único (equação 5) definido pela NB 6:1960 é igual a 1,3328.

Para a situação atual, a NBR 6118:2014 e a NBR 8681:2003 estabelece como coeficientes de majoração:

- 1,4 para cargas permanentes para combinação normal;
- 1,2 para cargas permanentes para combinação excepcional;
- 1,5 para ações variáveis em geral para combinação normal;
- 1,0 para ações variáveis em geral para combinação excepcional.

Essa norma também determina o fator de combinação de ações variáveis igual a 0,7 para cargas móveis e seus efeitos dinâmicos em pontes rodoviárias.

Os coeficientes de amplificação definidos na NBR 7188:2013 para situação atual são:

- CIV igual a 1,35 para vão menor que 10 m;
- CNF igual a 1,00 para duas faixas de tráfego rodoviário;
- CIA igual a 1,25 para obras em concreto.

Assim, nas equações 10, 11 e 12 são apresentadas as combinações últimas normais e excepcionais a serem utilizadas na situação de projeto e na situação atual.

$$F_{d1} = 1,65 * (G_1 + G_2 + G_3 + G_4) + 1,65 * 1,33 * (Q_{veic,1960} + Q_{1,1960} + Q_{2,1960}) \quad (10)$$

$$F_{d2} = 1,4 * (G_1 + G_2 + G_3 + G_4) + 1,5 * 1,69 * (Q_{veic,2013} + Q_{1,2013} + Q_{2,2013}) \quad (11)$$

$$F_{d3} = 1,2 * (G_1 + G_2 + G_3 + G_4) + E + 1,69 * 0,7 * (Q_{veic,2013} + Q_{1,2013} + Q_{2,2013}) \quad (12)$$

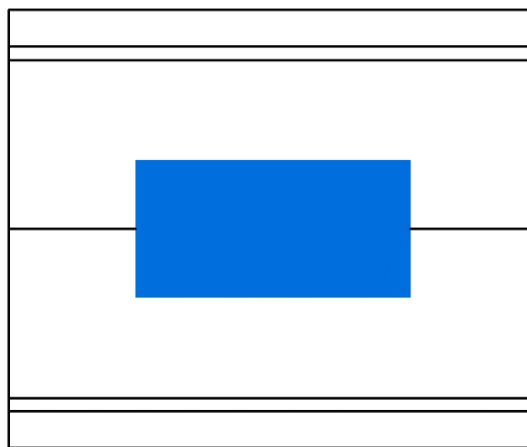
Em que:

- F_{d1} = valor de cálculo das ações atuantes na estrutura na combinação última normal para a situação de projeto;
- F_{d2} = valor de cálculo das ações atuantes na estrutura na combinação última normal para a situação atual;
- F_{d3} = valor de cálculo das ações atuantes na estrutura na combinação última excepcional para a situação atual.

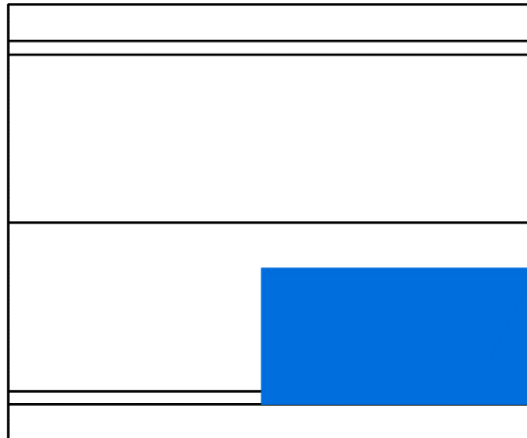
4.4.3 Posições do Trem-Tipo

Para avaliar os esforços nas transversinas, longarinas e lajes da ponte, foram definidas duas posições para o trem-tipo, buscando gerar os maiores esforços possíveis nos elementos estruturais com mais danos visíveis na inspeção extraordinária. As figuras 30 e 31 ilustram a posição considerada para o veículo.

Figura 30 – Posição 1 do trem-tipo



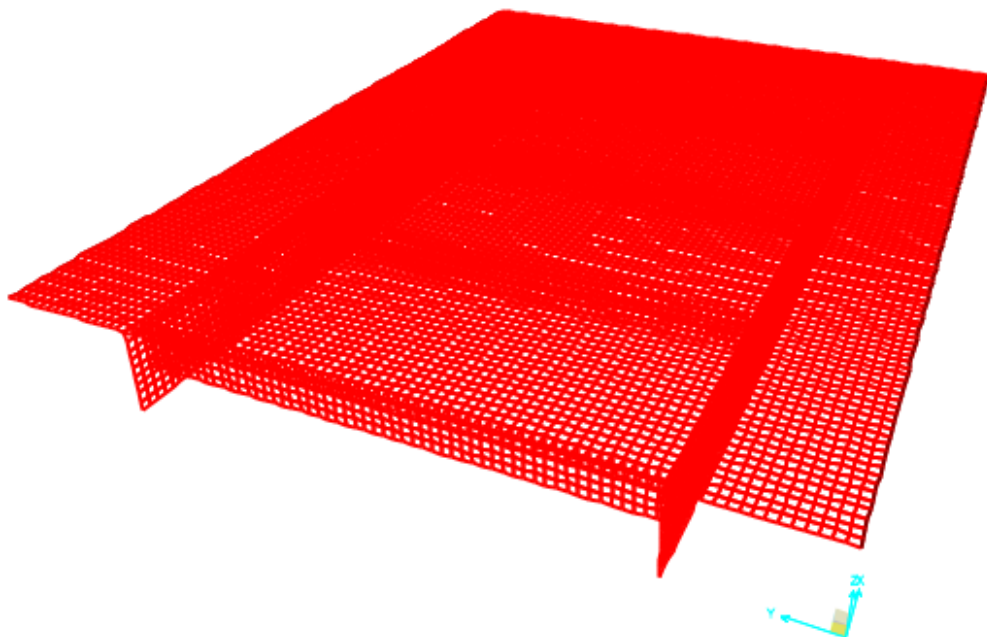
Fonte: A autora (2019)

Figura 31 – Posição 2 do trem-tipo

Fonte: A autora (2019)

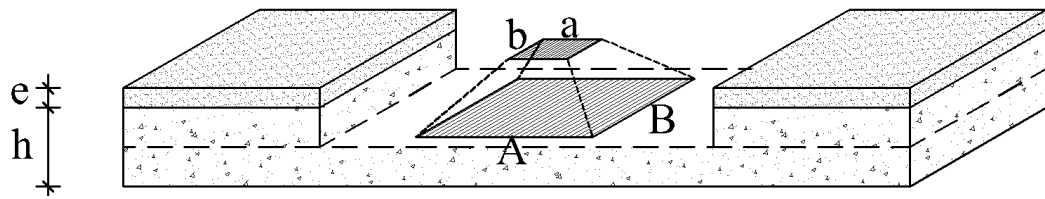
4.4.4 Esforços Internos atuantes nos Elementos

O modelo numérico da ponte foi realizado no SAP2000 com elementos de área, representando as lajes, longarinas e transversinas, conforme figura 32. Dessa maneira, os carregamentos do trem-tipo foram aplicados na seção média das lajes. Como a carga de veículo foi lançada como um carregamento distribuído na área de atuação de cada roda, foi necessário utilizar as equações 13 e 14 para determinar as dimensões da seção da roda na seção média da laje (ver figura 33).

Figura 32 – Modelagem estrutural da ponte

Fonte: A autora (2020)

Figura 33 – Área de contato das rodas na seção média da laje



Fonte: Conceição (2020)

$$A = a + 2e + h \quad (13)$$

$$B = b + 2e + h \quad (14)$$

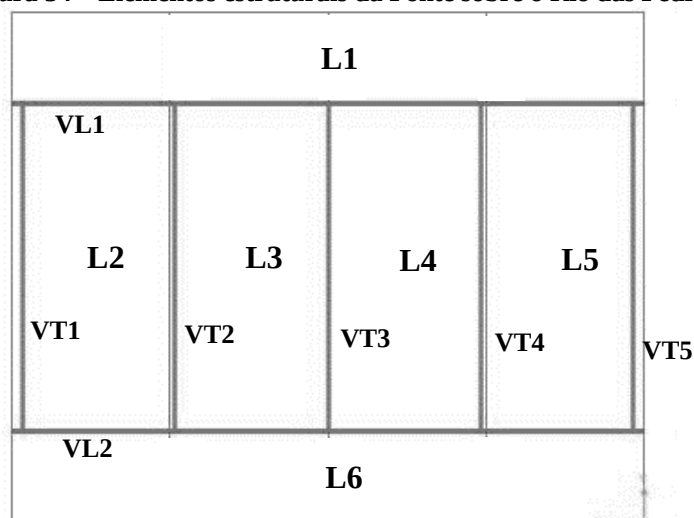
Onde:

- A = maior dimensão da seção da roda na seção média da laje;
- a = maior dimensão da seção da roda (50 cm);
- B = menor dimensão da seção da roda na seção média da laje;
- b = menor dimensão da seção da roda (20 cm);
- e = espessura do pavimento;
- h = altura da laje.

A figura 16 indica que a altura da laje é igual a 25 cm. Entretanto, o cadastro do DNIT (2019) não informa a espessura do pavimento, por isso, arbitrou-se 10 cm. Assim, as dimensões calculadas foram $A = 95$ cm e $B = 65$ cm.

Nos tópicos a seguir são apresentados os esforços internos atuantes nos elementos estruturais obtidos pela modelagem, sendo analisadas as transversinas VT5 e VT4, as longarinas VL1 e VL2 e as lajes, conforme a figura 34. Os elementos foram escolhidos considerando-se principalmente as manifestações patológicas já existentes.

Figura 34 – Elementos estruturais da Ponte sobre o Rio das Pedras



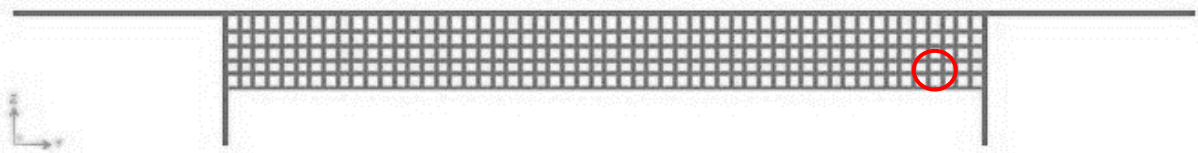
Fonte: A autora (2020)

Ressalta-se que o recalque considerado foi aplicado na extremidade da longarina VL2 próximo a transversina VT5.

4.4.4.1 Tensões na transversina VT5

Na transversina VT5, analisou-se a tensão normal máxima ($S_{\text{máx}}$) e a tensão de tangencial máxima (S_{MAXV}) em uma área próxima a extremidade da transversina junto a longarina VL2 (figura 35), região na qual foi verificada a rachadura. Na tabela 3, as tensões atuantes no ponto analisado são mostrados por cada tipo de carregamento, além dos resultados das combinações de ações.

Figura 35 – Ponto analisado na transversina VT5



Fonte: A autora (2020)

Tabela 3 – Tensões atuantes na transversina VT5 (kN/m²)

Carregamento	Posição do trem-tipo			
	1		2	
	$S_{\text{máx}}$	S_{MAXV}	$S_{\text{máx}}$	S_{MAXV}
G_1	148,70	19,29	148,70	19,29
G_2	47,17	6,16	47,17	6,16
G_3 e G_4	139,08	6,88	139,08	6,88
$Q_{1,2013}$	30,42	1,24	-1,25	1,45
$Q_{2,2013}$	18,73	3,64	140,26	10,98
$Q_{\text{veíc},2013}$	363,83	37,32	77,34	25,68
$Q_{1,1960}$	30,42	1,24	-1,25	1,45
$Q_{2,1960}$	11,24	2,18	84,16	6,59
$Q_{\text{veíc},1960}$	291,06	29,86	61,87	20,55
E	54.429,08	835,88	54.429,08	835,88
Combinações das tensões internas				
S_{d1}	1.284,38	126,55	873,82	116,21
S_{d2}	1.514,30	152,10	1.019,75	141,73
S_{d3}	55.318,86	924,53	55.088,07	919,69

Fonte: A autora (2020)

Nota-se que nas duas posições do trem-tipo, as combinações de ações para a situação de projeto e situação atual tiveram pouca variação do valor de tensão, considerando o aumento da carga do veículo e as alterações de coeficientes de majoração. O maior aumento foi de 21,97%

entre as tensões tangenciais na posição 2. Porém, em relação a situação de projeto, a combinação última excepcional resultou em um aumento de tensão normal de 4.207,05% na posição 1 e de 6.204,27% na posição 2. Infere-se que a rachadura apresentada na figura 21 teve como causa principal o recalque da longarina.

Segundo a NBR 6118:2014, o concreto apresenta resistência a tração média ($f_{ct,m}$) conforme a equação 15. Considerando que a ponte foi construída com concreto de f_{ck} igual a 20 MPa, sua resistência a tração média é 2,21 MPa.

$$f_{ct,m} = 0,3 * f_{ck}^{2/3} \quad (15)$$

Assim, um deslocamento de 0,25 cm já seria o suficiente para iniciar a fissuração do concreto no ponto analisado, pois a tensão normal calculada pela combinação extraordinária seria equivalente a 2.250,510 kN/m² (2,25 MPa) para o trem-tipo 1.

4.4.4.2 Tensões na transversina VT4

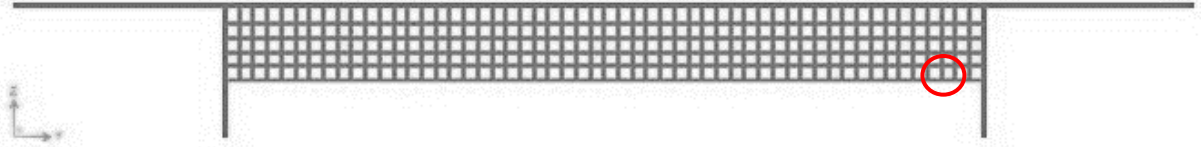
Na transversina VT4, analisou-se a tensão normal máxima e a tensão tangencial máxima em uma área da extremidade da peça junto a longarina VL2, como ilustra a figura 36. A tabela 4 apresenta as tensões atuantes no ponto analisado por cada tipo de carregamento, além dos resultados das combinações de ações.

Tabela 4 – Tensões atuantes na transversina VT4 (kN/m²)

Carregamento	Posição do trem-tipo			
	1		2	
	S _{máx}	S _{MAXV}	S _{máx}	S _{MAXV}
G_1	274,68	76,23	274,68	76,23
G_2	58,49	21,72	58,49	21,72
G_3 e G_4	1,86	6,39	1,86	6,39
$Q_{1,2013}$	-0,64	2,37	2,30	3,71
$Q_{2,2013}$	14,33	17,81	164,41	28,20
$Q_{veic,2013}$	1.369,15	178,28	89,48	81,31
$Q_{1,1960}$	-0,64	2,37	2,30	3,71
$Q_{2,1960}$	8,60	10,68	98,65	16,92
$Q_{veic,1960}$	1.095,32	142,62	71,59	65,05
E	23.064,58	216,05	23.064,58	216,05
Combinações das tensões internas				
S_{d1}	2.980,45	514,52	932,23	360,58
S_{d2}	3.970,98	648,41	1.117,54	432,66
S_{d3}	25.100,85	575,69	23.769,25	475,00

Fonte: A autora (2020)

Figura 36 – Ponto analisado na transversina VT4



Fonte: A autora (2020)

Os maiores esforços obtidos no ponto analisado ocorreram no trem tipo na posição 1, em que o valor da tensão normal gerada pelo veículo na situação atual é 308,67% maior que a soma de todas as tensões normais geradas por cargas permanentes. Além disso, houve um aumento de 33,23% entre a tensão normal máxima na situação atual e a situação de projeto.

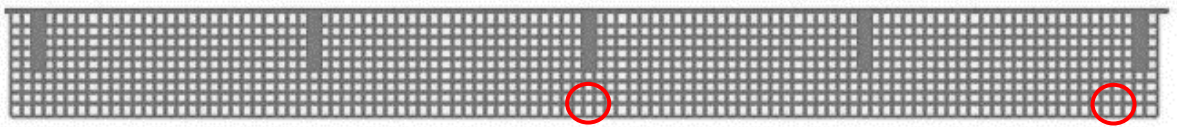
Como no caso da transversina VT5, o recalque aplicado causou um grande aumento nas tensões normais. Na posição 2 do trem-tipo, houve um aumento de 2.449,72% da tensão normal máxima na combinação última excepcional em relação a combinação última normal de projeto. Dessa maneira, possivelmente o recalque da longarina também foi responsável pelo deslocamento do concreto no ponto analisado, como mostra figura 21, o que tornou as armaduras suscetíveis a corrosão.

Ressalta-se que os valores de S_{d1} e S_{d2} calculados para a tensão normal máxima no trem-tipo na posição 1 são superiores a resistência de tração média. Entretanto, os pontos analisados são na parte inferior da viga, muito abaixo da linha neutra, sendo uma parcela desconsiderada no estágio II, em que a resistência à tração do concreto é atingida, demonstrando a necessidade de armaduras de aço.

4.4.4.3 Tensões nas longarinas

Nas longarinas da ponte, analisou-se a tensão normal máxima na parte inferior do meio do vão da peça, e a tensão tangencial máxima na parte inferior próxima da extremidade junto à transversina VT5, conforme figura 37.

Figura 37 – Pontos analisados nas longarinas



Fonte: A autora (2020)

As tabelas 5 e 6 apresentam as tensões atuantes nos pontos analisados por cada tipo de carregamento, além dos resultados das combinações de ações.

Tabela 5 – Tensões atuantes na longarina VL1 (kN/m²)

Carregamento	Posição do trem-tipo			
	1		2	
	S _{máx}	S _{MAXV}	S _{máx}	S _{MAXV}
G_1	991,93	668,18	991,93	668,18
G_2	270,86	177,54	270,86	177,54
G_3 e G_4	0,49	1.077,03	0,49	1.077,03
$Q_{1,2013}$	40,58	356,04	11,99	10,01
$Q_{2,2013}$	301,64	445,56	552,04	382,45
$Q_{veíc,2013}$	1.255,72	2.065,82	114,32	85,79
$Q_{1,1960}$	40,58	356,04	11,99	10,01
$Q_{2,1960}$	180,98	267,34	331,22	229,47
$Q_{veíc,1960}$	1.004,58	1.652,66	91,46	68,63
E	3.542,31	43.115,36	3.542,31	43.115,36
Combinações das tensões internas				
S_{d1}	4.780,86	8.177,81	3.040,32	3.850,10
S_{d2}	5.813,39	9.950,02	3.485,68	3.902,41
S_{d3}	6.945,82	48.809,80	5.859,55	45.987,59

Fonte: A autora (2020)

Tabela 6 – Tensões atuantes na longarina VL2 (kN/m²)

Carregamento	Posição do trem-tipo			
	1		2	
	S _{máx}	S _{MAXV}	S _{máx}	S _{MAXV}
G_1	991,93	668,18	991,93	668,18
G_2	270,86	177,54	270,86	177,54
G_3 e G_4	0,49	1.077,03	0,49	1.077,03
$Q_{1,2013}$	40,58	356,04	99,02	120,17
$Q_{2,2013}$	301,64	445,56	224,70	665,58
$Q_{veíc,2013}$	1.255,72	2.065,82	1.026,44	952,71
$Q_{1,1960}$	40,58	356,04	99,02	120,17
$Q_{2,1960}$	180,98	267,34	134,82	399,35
$Q_{veíc,1960}$	1.004,58	1.652,66	821,15	762,17
E	3.124,32	45.522,12	3.124,32	45.522,12
Combinações das tensões internas				
S_{d1}	4.780,86	8.177,81	4.404,47	5.991,11
S_{d2}	5.813,39	9.950,02	5.186,20	7.092,32
S_{d3}	6.527,83	51.120,43	6.235,14	49.882,97

Fonte: A autora (2020)

Com os dados obtidos, verifica-se que os maiores esforços são os de tensão tangencial na extremidade das longarinas para o trem-tipo na posição 1.

Considerando o trem-tipo na posição 2, na longarina VL1 o recalque gerou um aumento de 1.094,45% da tensão tangencial máxima e de 92,73% da tensão normal máxima em relação a situação de projeto.

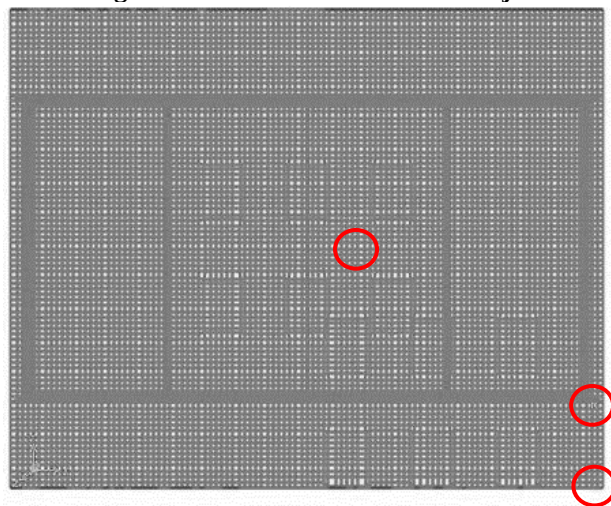
Como na transversina VT4, os valores de S_{d1} e S_{d2} calculados para a tensão normal máxima no trem-tipo na posição 1 e 2 são superiores a resistência de tração média. Entretanto, os pontos analisados também são na parte inferior da viga, muito abaixo da linha neutra, sendo uma parcela desconsiderada no estágio II, em que a resistência à tração do concreto é atingida, demonstrando a necessidade de armaduras de aço.

4.4.4.4 Momentos fletores nas lajes

Nas lajes, analisaram-se os momentos fletores nas direções x (M_{11}) e y (M_{22}). Buscando obter os maiores valores, os pontos de análise (figura 38) foram: no meio do vão da laje L4 para o momento fletor positivo na direção x , no canto inferior direito da laje L6 para o momento fletor positivo na direção y , e no canto superior direito da laje L6 para os momentos negativos.

A tabela 7 mostra os momentos atuantes nos pontos analisados por cada tipo de carregamento, além dos resultados das combinações de ações.

Figura 38 – Pontos analisados nas lajes



Fonte: A autora (2020)

Observa-se que o recalque da longarina gerou um M_{11} pequeno no ponto da laje L4. Assim, os resultados da combinação última excepcional foram menores do que os das combinações últimas normais, devido a diminuição do coeficiente de amplificação e o uso do fator de combinação.

Tabela 7 – Momentos fletores nas lajes (kNm/m)

Trem-tipo	Posição do trem-tipo							
	1				2			
Carregamento	M11+	M11-	M22+	M22-	M11+	M11-	M22+	M22-
G_1	5,12	-1,52	21,59	-10,32	5,12	-1,52	21,59	-10,32
G_2	1,57	-0,46	6,05	-3,30	1,57	-0,46	6,05	-3,30
G_3 e G_4	-0,34	-1,12	3,36	-8,26	-0,34	-1,12	3,36	-8,26
$Q_{1,2013}$	-0,23	0,09	0,67	-0,43	0,00	-0,13	0,44	-1,14
$Q_{2,2013}$	0,96	-1,11	9,10	-6,83	2,67	0,16	3,02	0,69
$Q_{veic,2013}$	13,96	0,04	16,21	2,88	4,04	-5,21	56,69	-34,89
$Q_{1,1960}$	-0,23	0,09	0,67	-0,43	0,00	-0,13	0,44	-1,14
$Q_{2,1960}$	-0,14	-0,66	5,46	-4,10	1,60	0,10	1,81	0,41
$Q_{veic,1960}$	11,17	0,03	12,97	2,30	3,23	-4,17	45,35	-27,91
E	2,75	-50,27	350,22	-108,83	2,75	-50,27	350,22	-108,83
Combinações dos momentos internos								
S_{d1}	36,875	-6,56	93,15	-46,05	21,69	-14,55	155,85	-99,97
S_{d2}	47,142	-7,13	109,17	-49,00	26,37	-17,85	195,67	-121,81
S_{d3}	28,410	-55,28	418,12	-143,66	18,72	-60,29	458,48	-177,63

Fonte: A autora (2020)

Já na extremidade da laje L6, os M_{22} positivos calculados pela combinação excepcional tiveram um aumento em relação a combinação última normal para situação de projeto de 348,85% no trem-tipo na posição 1 e de 194,19% no trem-tipo na posição 2.

Para os M_{22} negativos, o recalque causou um aumento em relação a situação de projeto de 211,97% no trem-tipo na posição 1 e de 77,69% no trem-tipo na posição 2.

Esse aumento dos momentos fletores pode ter contribuído para ocorrência das rachaduras apresentadas nas figuras 21 e 22 na laje L6.

4.5 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Devido a execução da obra de recuperação da ponte, com a presença de andaimes no local, em visita técnica no dia 29 de setembro de 2020, foi possível a realização de ensaios não destrutivos na ponte. Foram executados os ensaios de pacometria e esclerometria na extremidade da longarina VL1, sendo utilizados os aparelhos Profomoter 5 e Original Schmidt, ambos da marca Proceq.

Apesar do aparelho de ultrassom também estar disponível nos laboratórios de engenharia do Instituto Federal de Sergipe, o ensaio de ultrassonografia não foi feito. Dado que o foco desse teste é medir a compacidade do concreto, permitindo a detecção de falhas internas, porém, a estrutura já possuía rachaduras e fissuras visíveis a olho nu.

O ensaio de pacometria foi utilizado para a detecção das armaduras no concreto e, com isso, demarcar as áreas onde seria realizado o ensaio de esclerometria. As leituras foram feitas na área da longarina ensaiada, de acordo com a figura 39.

O ensaio de esclerometria foi realizado com 16 pontos de impacto na área analisada, como mostra a figura 40.

Figura 39 – Localização das Armaduras conforme ensaio de pacometria



Fonte: A autora (2020)

Figura 40 – Realização do ensaio de esclerometria



Fonte: A autora (2020)

Conforme a NBR 7584:2012, o esclerômetro deve ser aferido antes de sua utilização por meio de uma bigorna especial de aço, efetuando no mínimo 10 impactos. Desse modo, o coeficiente de correção do índice esclerométrico (k) é calculado em função do número de impactos na bigorna (n), do índice esclerométrico nominal do aparelho da bigorna de aço (I_{Enom}) e dos índices esclerométricos obtidos em cada impacto do esclerômetro na bigorna de aço (I_{Ei}), conforme equação 16.

$$k = \frac{n * I_{Enom}}{\sum_{i=1}^n I_{Ei}} \quad (16)$$

O coeficiente de correção encontrado para esse ensaio foi igual a 0,97. Assim, utilizando a equação 17, calculou-se o índice esclerométrico médio efetivo ($I_{E\alpha}$) da área ensaiada tomando como base o índice esclerométrico médio (I_E).

$$I_{E\alpha} = k * I_E \quad (17)$$

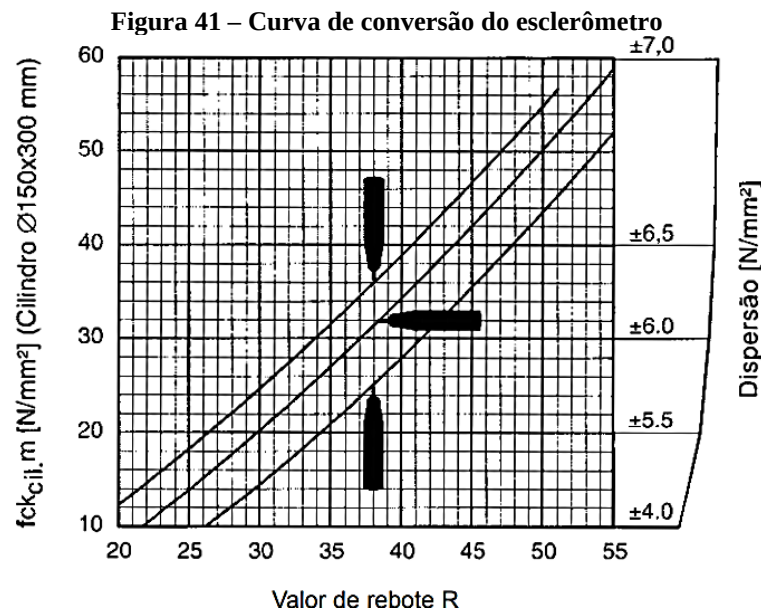
A tabela 8 apresenta os resultados dos índices esclerométricos individuais do ensaio, bem como o índice esclerométrico médio efetivo obtido pelos pontos válidos, que, segundo a norma, são os valores dentro do intervalo de $\pm 10\%$ do valor médio obtido.

Tabela 8 – Resultados do ensaio de esclerometria

Pontos ensaiados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I_E	40	38	36	46	41	39	46	40	48	46	45	48	40	46	39	45
Valor médio	42,69															
Pontos válidos	40	-	-	46	41	39	46	40	-	46	45	-	40	46	39	45
$I_{E,méd}$	42,75															
$I_{E\alpha}$	41,64															

Fonte: A autora (2020)

Utilizando a curva de conversão baseada na resistência a compressão média de um cilindro e o valor de rebote fornecida pelo fabricante do esclerômetro (figura 41), pode-se estimar que a área ensaiada tenha resistência de 36,4 N/mm² (36,4 MPa).



Fonte: Proceq (2017)

4.6 RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA

A recuperação da Ponte sobre o Rio das Pedras (figura 42) iniciou-se no mês de agosto de 2020. A primeira etapa da obra foi a canalização do rio e a criação de uma base para o

escoramento. Esse piso foi composto por uma camada inferior de pedras argamassadas para regularização, e uma camada superior de concreto com f_{ck} de 20 MPa de 30 cm de espessura, permitindo a execução das demais etapas programadas. Em seguida, parte da camada superior do encontro abaixo da transversina VT5 foi removida para realização do reparo (figura 43).

Figura 42 – Execução da obra de recuperação da ponte



Fonte: A autora (2020)

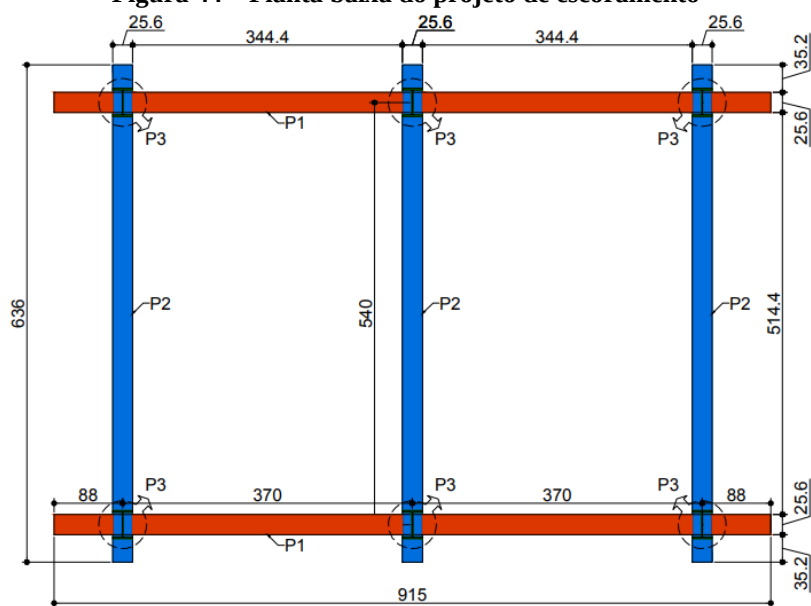
Figura 43 – Remoção do concreto da parte superior do encontro



Fonte: A autora (2020)

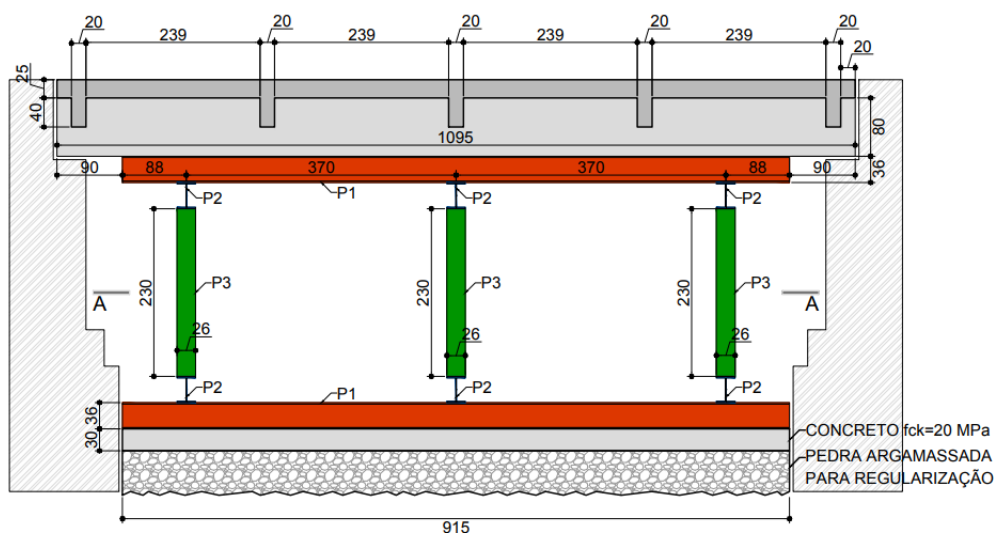
Ambas as extremidades das longarinas junto a transversina VT5, foram macaqueadas, sendo VL1 levantada 2 cm e VL2 12 cm. Essa diferença ocorreu a fim de corrigir o recalque presente na longarina VL2. Após o macaqueamento, a ponte foi temporariamente escorada por meio de perfis metálicos laminados W360x110, conforme figuras 44 a 47. Ressalta-se que durante a realização do macaqueamento e escoramento houve a interdição total do tráfego.

Figura 44 – Planta baixa do projeto de escoramento



Fonte: DNIT (2019)

Figura 45 – Seção longitudinal do projeto de escoramento



Fonte: DNIT (2019)

Figura 46 – Seção transversal do projeto de escoramento

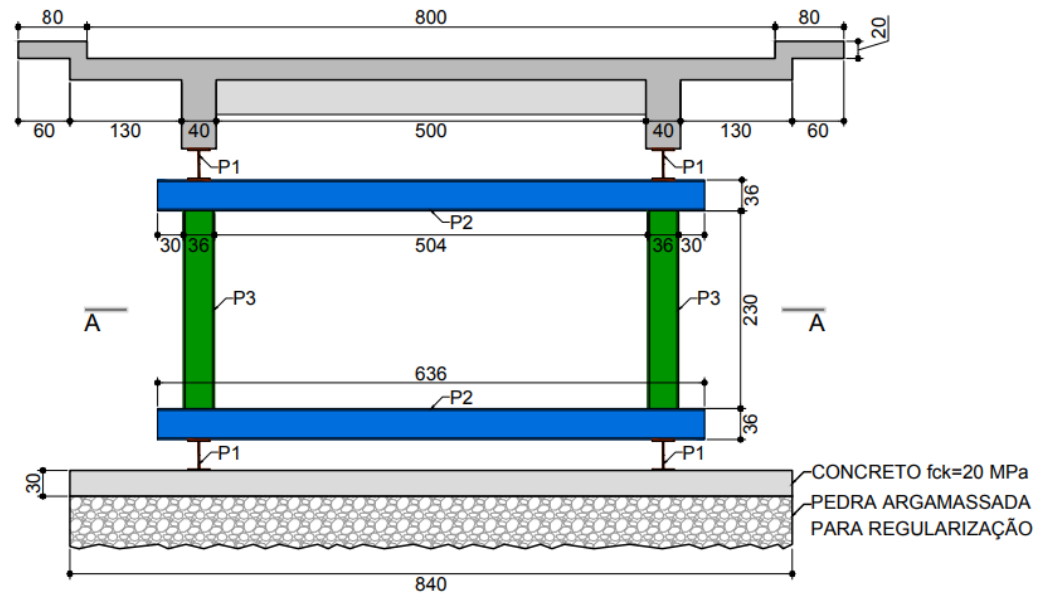


Figura 47 – Detalhe do escoramento da ponte



Como citado anteriormente, o encontro foi construído com seixo rolado, nessa visita constatou-se que esse elemento foi executado com concreto simples, porém foi identificada uma barra de aço CA-25 próxima a transversina conforme figura 48.

Figura 48 – Concreto com seixo e aço CA-25 no encontro



Fonte: A autora (2020)

Durante a visita técnica de acompanhamento a obra, foi possível identificar novas patologias e a evolução de algumas já existentes, como uma longa rachadura em um dos encontros abaixo do passeio (figura 49) e a segregação do concreto do passeio (figura 50).

Figura 49 – Rachadura no encontro da ponte



Fonte: A autora (2020)

Figura 50 – Segregação do concreto do passeio



Fonte: A autora (2020)

Após a reconstrução da transversina VT5, a parte superior do encontro foi refeita e foram implementados aparelhos de apoio, antes inexistentes na estrutura. Nos pontos de corrosão, onde a armadura ainda possuía seção transversal considerável, ocorreu a limpeza e pintura de proteção das barras de aço. Já nos locais em que a armadura estava completamente corroída, houve a troca por novas barras de aço CA-50. O concreto utilizado na recuperação tinha f_{ck} de 30 MPa e foi projetado sobre a estrutura.

Por fim, ocorreu a pintura manual dos elementos estruturais com nata de cimento e a base foi retirada. O guarda-corpo foi recomposto e foi prevista a instalação de um semáforo na proximidade da ponte.

4.7 CLASSIFICAÇÃO DA PONTE

Com base nas vistorias realizadas, problemas apresentados e análises realizadas, a Ponte sobre o Rio das Pedras, antes da recuperação da estrutura, seria classificada em condição Crítica (nota 1). A OAE encontrava-se em alto grau de deterioração, sendo um risco estrutural a segurança dos usuários, principalmente pela situação da transversina VT5.

Os esforços presentes já mostravam a possibilidade de colapso parcial ou total da ponte, sendo necessário a realização de intervenção imediatamente, fato já apresentado em Laudo Técnico realizado em novembro de 2019 por técnico do consórcio entre as empresas SC Engenharia e Geotecnologia e SD Consultoria e Engenharia. Caso o dano presente tivesse ocorrido em alguma das longarinas, a estrutura poderia ter colapsado antes da intervenção.

Devido a essa situação, antes das obras de recuperação, a OAE sofreu restrição de carga com interdição parcial de tráfego e foi construído um quebra-molas antes da ponte, visando diminuir os esforços atuantes.

5 CONCLUSÃO

O estudo desenvolvido nesse trabalho analisou possíveis impactos de alterações estruturais não previstas em projeto de Obras de Arte Especiais de concreto armado. No caso da Ponte sobre o Rio das Pedras, o deslocamento excessivo da extremidade de uma das vigas longarinas e as manifestações patológicas apresentadas na estrutura geraram uma situação crítica aos usuários. Esse cenário poderia ocasionar danos de muita gravidade, envolvendo impactos de ordem material e perdas de ordem humana.

Por essa razão, o monitoramento das estruturas e a realização de atividades de manutenção são de suma importância. Ao longo da vida útil de uma construção, esse monitoramento pode ser feito por meio de inspeções rotineiras e ensaios técnicos, visando analisar parâmetros que interferem na durabilidade da estrutura, tais como: resistência do concreto, potencial de corrosão, carbonatação, deslocamentos verticais e horizontais, rotações e variação na abertura de juntas.

Perante o exposto no estudo de caso, foi verificado que as condições originais de cálculo do projeto estrutural da ponte aumentaram cerca de 20% em relação as condições previstas nas normas técnicas atuais nos pontos apresentados, sendo o valor máximo encontrado de 33,23%. Assim, percebe-se a influência dos trem-tipos e das combinações na análise estrutural e a relevância da comparação da situação de projeto e a situação atual, principalmente quanto a mudança dos carregamentos considerados. A diferença encontrada, entretanto, não implicaria significativamente no funcionamento da estrutura, devido os coeficientes de segurança utilizados em ambas as situações, porém para garantia de estabilidade a longo prazo, é essencial a realização de um projeto de reforço para readequação da OAE.

O ensaio de esclerometria executado estima uma resistência à compressão maior que a de projeto, fato que pode ter contribuído com a estabilidade da estrutura apesar do cenário desfavorável. Entretanto, ressalta-se que a curva de correlação utilizada pode não ser aplicável a realidade do concreto utilizado na OAE, fato que poderia ser confirmado pela extração e rompimento de corpos de prova para obtenção da resistência à compressão.

A intervenção realizada na Ponte sobre o Rio das Pedras solucionou a classificação de condição Crítica, deixando a estrutura em situação Satisfatória e apresentando segurança e conforto aos usuários. Porém, ainda devem ser previstas manutenção de rotina para preservar essa nova condição excelente.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- Realizar uma análise estrutural da capacidade resistente da ponte visto aos esforços solicitantes em todos os elementos de forma mais criteriosa, determinando ou não a necessidade de reforço em cada um deles;
- Estabelecer a correlação dos resultados de ensaios não destrutivos com as propriedades da ponte;
- Determinar um plano de monitoramento e manutenção da estrutura, apresentando inspeções, ensaios técnicos e análises a serem realizados a longo prazo;
- Analisar outras pontes em situações distintas;
- Investigar se o trem-tipo estabelecido como carga móvel rodoviária padrão na NBR 7188:2013 é compatível com o tráfego presente nas OAEs do estado de Sergipe.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 1: Cálculo e execução de obras de concreto armado**. Rio de Janeiro – RJ, 1960.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 5: Cargas para o cálculo de estruturas de edifícios**. Rio de Janeiro – RJ, 1961.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 6: Cargas móveis em pontes rodoviárias**. Rio de Janeiro – RJ, 1960.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** - Procedimento. Rio de Janeiro – RJ, 2014.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido** - Procedimento. Rio de Janeiro – RJ, 2003.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. Rio de Janeiro – RJ, 2013.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestres**. Rio de Janeiro – RJ, 1982.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão** – Método de ensaio. Rio de Janeiro – RJ, 2012.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas** - Procedimento. Rio de Janeiro – RJ, 2003.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto** - Procedimento. Rio de Janeiro – RJ, 2019.
- ALBUQUERQUE, Arthur Álex de Araújo. **Técnica de Analogia de Grelha Associada a um Modelo de Pórtico para Análise do Comportamento de Sistemas Estruturais de Pontes**. 2014. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- AMORIM, David Leonardo Nascimento de Figueiredo; BARBOZA, Aline da Silva Ramos Barboza; BARBIRATO, João Carlos Cordeiro. **Técnica de Analogia de Grelha Associada a um Modelo de Pórtico para Análise do Comportamento de Sistemas Estruturais de Pontes**. 2012, V Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas.
- ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. **Controle tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira, 2002.
- BRITTO, Daniel Carvalho de. **Estudo Comparativo do Comportamento Mecânico dos Concretos Produzidos com Seixos Rolados e Britas Graníticas como Agregado Graúdo da Região de Teresina-PI**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

CARMO, Marco Antônio do. **Study of Deterioration of Constructed Concrete Skyways in the city of Uberlândia and Bambuí**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

CASTRO, Elisângela de. **Study of Concrete Strength by means of Small Cores and Sclerometry Essays**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

CONCEIÇÃO, Rodolfo Santos da. 2020. **Notas de aula da disciplina Pontes do Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju**.

COSTA, Felipe Lima da. **Efeitos de agentes agressivos marinhos em estruturas portuárias de concreto armado no Brasil: estudo de caso**. 2016. Dissertação (graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Projeto de Escoramento da Ponte sobre o Rio das Pedras**. 2019. Disponível em: <https://sei.dnit.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?WLW_xY99x7shgcRRcAPhjmly7U2GZhYckxsGmdttCSrKeeobQGRokRe2yFXMBbQvHkXmPeiobEN2I2_id-hjOWzLkF6KsgrCH5zaV5TOAdMfFeZn3OFBZhEwdoO5cZQu> acesso em 31/10/2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Relatório SGO - Ponte sobre o Rio das Pedras**. 2019.

DÓREA, Sandra Carla Lima; SANTOS, Débora de Gois; SALES, Ângela Teresa Costa; SILVEIRA, Paula Melissa Dantas. **Avaliação patológica da estrutura de concreto armado e dos componentes de uma edificação construída em 1914**. 2010, Scientia Plena.

EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge. **Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaios Não Destrutivos**. 2002. Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

FREIRE, Karla Regina Rattmann. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto**. 2005. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. Tese – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Introdução da Durabilidade no Projeto das Estruturas de Concreto: Como Projetar para a Durabilidade: 2ª parte**. Disponível em: <<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/186.pdf>> acesso em 01/10/2019.

LORENZI, Alexandre; CAETANO, Luciane Fonseca; DRUNN, Maurício Trasel; SILVA FILHO; Luiz Carlos Pinto da. **Utilização de ultra-som para o monitoramento de estruturas de concreto**. 2003. Pan American Conference for Nondestructive Testing PANNDT, Rio de Janeiro RJ.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. 3.reimpr. São Paulo-SP: Blucher, 2013.

NÓBREGA, Luciano de Oliveira. **Modelagem hidro-mecânica de estruturas de concreto afetada pela reação álcali-agregado**. 2008. Tese de doutorado – Universidade Federal de Pernambuco.

OLIVEIRA, Alexandre Magno de **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

PALACIOS, Maria Del Pilar Guzman. **Emprego de ensaios não destrutivos e de extração de testemunhos na avaliação da resistência à compressão do concreto**. 2012. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) — Universidade de Brasília, Brasília.

Parte de viaduto no Eixão Sul desaba no centro de Brasília. **EL PAÍS**, 2018. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2018/02/06/politica/1517926437_579911.html> acesso em 21/09/2020.

Parte do Eixão Sul desaba no centro de Brasília. **G1**, 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/parte-do-eixao-sul-desaba-no-centro-de-brasil.ghml>> acesso em: 21/09/2020.

PAULETTI, Cristiane; POSSAN, Edna; MOLIN, Denise Carpena Coitinho Dal. **Carbonatação acelerada: estado da arte das pesquisas no Brasil**. 2007. Ambiente Construído, Porto Alegre.

PINTO JÚNIOR, Everaldo Cavalheiro. **Otimização de seções de concreto armado**. 2006. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Ponte desaba e rompe tubulação de água em Pedra Branca, SE. **G1**, 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/se/sergipe/noticia/2015/05/ponte-desaba-e-rompe-tubulacao-de-agua-em-pedra-branca-se.html>> acesso em 21/09/2020.

POSSAN, Edna. **Contribuição ao Estudo da Carbonatação do Concreto com Adição de Sílica Ativa em Ambiente Natural e Acelerado**. 2004. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

POSSAN, Edna. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. 2010. Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PROCEQ SA. **Manual de teste de concreto**: instruções operacionais. 2017. Schwerzenbach.

ROSSIGALI, Carlos Eduardo. **Atualização do Modelo de Cargas Móveis para Pontes Rodoviárias de Pequenos Vãos no Brasil**. 2013. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), COPPE, Rio de Janeiro, RJ.

SANTOS, Bruno dos; SILVA, Jean Carlos da. **Patologia em Pontes - Estudo de Caso em Patologias da Ponte Pedro Ivo Campos e Orientação de Reforma**. 2017. Palhoça – SC: UNISUL.

SANTOS, Carolina Almeida Novaes dos. **Retro-análise de Estruturas de Pontes por meio de Técnicas Teórico-numérico-experimentais**. 2013. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), COPPE, Rio de Janeiro, RJ.

SARTORTI, Artur Lenz. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP**. 2008. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura, Campinas, SP.

SC ENGENHARIA E GEOTECNOLOGIA, SD CONSULTORIA E ENGENHARIA LTDA. **Laudo Técnico Ponte sobre o Rio das Pedras – BR235/SE**. 2019. Disponível em <https://sei.dnit.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?R7zfmrqLB2iFWbkPNyqntpswVoObdkj-k-L--FncaMo0ZoucFHQG6NEjiVpT0gbow-wPhgGinxhWSAy5Lhbc1an38IUz41MPjEECgAtEQgCtEAbahhCzpClbhJRV1djP> acesso em 31/10/2019.

SOEIRO, Joaquim Martins; COSTA, Sarah Silva; SILVA, Adriano de Paula e; CHAHUD, Eduardo. **Ensaio Não Destrutivo** - Ensaio de Ultrassom e Pacômetro na Avaliação da Qualidade do Concreto Armado. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC), Maceió – AL, 2018.

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

SUSSEKIND, José Carlos. **Curso de Análise Estrutural**: volume I. Editora Globo, 6 ed., 1981.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto**. IBRACON, 2006.

ANEXO I – INSPEÇÃO ROTINEIRA DA PONTE SOBRE O RIO DAS PEDRAS



DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DPP – DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
CGDESP – COORDENAÇÃO GERAL DE DESENVOLVIMENTO E PROJETOS
COORDENAÇÃO DE PROJETOS DE ESTRUTURAS

INSPEÇÃO ROTINEIRA

1. IDENTIFICAÇÃO DA OBRA

Código:	210018	Ponte sobre o Rio das Pedras	Via / UF:	BR-235 / SE	Superint. Regional:	S.R.E - SE
Data da Inspeção:	28/03/2019	Inspetor: PAULA CARVALHO TORRES	Km:	41	UL:	ULSE01 - NOSSA SRA DO SOCORRO

2. CONDIÇÕES

Condição de Estabilidade: Sofrível
Condição de Conservação: Sofrível

Observações:

Guarda corpo deslocado da posição;
Degradação do concreto devido a ação biológica - Lajes e vigas.
Guarda rodas antigo do DNER - Deslocamento de concreto - a direita do 1º encontro

Nota Técnica

2 - Problemática

3. DANOS NOS ELEMENTOS

Elemento	Nota	Dano	Unid	Quantidade	Ext. Relativa	Localização
Junta de dilatação	3 - Em observação	Junta danificada ou inexistente ou expelida	M	19.2	>80%	Nos encontros, sobre a via
Guarda rodas antigo do DNER	2 - Problemática	Rachadura ou trinca muito aberta	M	22	>20% e <=40%	Ao longo do guarda rodas
Encontro - Parede frontal portante de concreto armado	3 - Em observação	Lixiviação e mancha de carbonatação	M2	5	<=20%	1º e 2º encontro
Encontro - Parede frontal portante de concreto armado	3 - Em observação	Deslocamento de concreto com armadura exposta	M2	1	<=20%	2º Encontro
Encontro - Parede frontal portante de concreto armado	3 - Em observação	Infiltração no concreto	M2	2	<=20%	Pontos localizados das paredes
Encontro - Parede frontal portante de concreto armado	3 - Em observação	Manchas de umidade	M2	8	>20% e <=40%	Ao longo das paredes
Transversina portante de concreto armado	3 - Em observação	Armadura sem cobrimento	M2	2	<=20%	Ao longo das transversinas
Transversina portante de concreto armado	3 - Em observação	Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	M2	1	<=20%	Próximo às longarinas
Viga T ou I de concreto armado	3 - Em observação	Lixiviação e mancha de carbonatação	M2	0.1	<=20%	V1, próximo ao segundo encontro
Viga T ou I de concreto armado	3 - Em observação	Manchas de umidade	M2	0.1	<=20%	V1, próximo ao segundo encontro
Viga T ou I de concreto armado	3 - Em observação	Armadura sem cobrimento	M2	1	<=20%	Pontos localizados ao longo das longarinas
Laje de concreto armado	2 - Problemática	Lixiviação e mancha de carbonatação	M2	2	<=20%	Pontos da laje em balanço
Laje de concreto armado	2 - Problemática	Nicho de concretagem	M2	0.3	<=20%	Ponto localizado próximo à face lateral e encontro
Laje de concreto armado	2 - Problemática	Manchas de umidade	M2	3	<=20%	Ponto localizado próximo ao encontro



DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DPP – DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
CGDESP – COORDENAÇÃO GERAL DE DESENVOLVIMENTO E PROJETOS
COORDENAÇÃO DE PROJETOS DE ESTRUTURAS

INSPEÇÃO ROTINEIRA

Laje de concreto armado	2 - Problemática	Fissura profunda aberta ($w > 0,3 \text{ mm}$)	M	2	$\leq 20\%$	Ponto localizado próximo ao encontro
Laje de concreto armado	2 - Problemática	Infiltração no concreto	M2	3	$\leq 20\%$	Pontos localizados das lajes
Laje de concreto armado	2 - Problemática	Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	M2	10	$> 20\%$ e $\leq 40\%$	Ao longo das lajes em balanço

4. INSUFICIÊNCIAS ESTRUTURAIS NOS ELEMENTOS

Elemento	Nota	Insuficiência	Causa Provável	Comentários
Encontro - Parede frontal portante de concreto armado	3 - Em observação	Deterioração acentuada dos materiais de construção	Infiltração de águas	
Transversina portante de concreto armado	3 - Em observação	Deterioração acentuada dos materiais de construção	Causa não informada	
Viga T ou I de concreto armado	3 - Em observação	Deterioração acentuada dos materiais de construção	Infiltração de águas	
Laje de concreto armado	2 - Problemática	Deterioração acentuada dos materiais de construção	Infiltração de águas	

5. LAUDO ESPECIALIZADO

Data do Laudo: 28/03/2019 Consultor: PAULA CARVALHO TORRES

Observações:

1 - Descrição sucinta da obra

1 - O sistema estrutural longitudinal do tabuleiro é constituído por 11,55m de comprimento; 2 - A ponte apresenta seção transversal com largura total de 9,60m.

2 - Problemas principais observados

Laje de concreto armado com fissuração e infiltração de águas excessivas. Guarda rodas com fissuração excessiva.

3 - Diagnóstico

Os problemas observados podem comprometer a capacidade de resistência da ponte, pois os elementos citados se encontram deteriorados, necessitando de recuperação à curto prazo. 4 - Recomendações

4.1 - Estético e Funcional

- Pintura geral da OAE. - Execução de dispositivos de drenagem para escoamento de águas pluviais nas adjacências dos encontros.

4.2 - Estrutural - Preventivos e Corretivos

1º Recuperação da laje de concreto armado que se encontra em estado crítico.

2º Recuperação dos guarda rodas concreto armado que se encontram em estado crítico.

4.3 - Recomendações Complementares.

Os serviços de reforço requerem a prévia elaboração de trabalhos de cálculo estrutural, sejam estes serviços derivados de necessidade de alteração na funcionalidade da estrutura, casos em que o reforço estará inserido nos trabalhos de recuperação proceder com as recomendações.

1 - escolha da técnica executiva a utilizar;

2 - definição precisa das peças da estrutura em que será necessário proceder-se ao reforço - e a extensão desta intervenção - e daquelas em que será suficiente apenas a recuperação, entendendo-se como tal a reconstituição das características geométricas, de resistência e desempenho originais;

3 - determinação da capacidade resistente da estrutura, definição do tipo, intensidade e extensão do reforço necessário;

4 - indicação da necessidade ou não da adoção de procedimentos de escoramento durante os trabalhos; 5 - avaliação do grau de segurança em que se encontra a estrutura, antes, durante e depois da execução do reforço.

ANEXO II – ESPECIFICAÇÕES DO GUARDA-CORPO


ENGEMOLDE

Engenharia, Indústria e Comércio Ltda.

PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

 Fábrica/Escritório: Rod. Amaral Peixoto (RJ 106) Km20 - Cx. Postal 114016 - 24900-000 - RJ
 Tel. (21) 2636-6666 / Fax (21) 2636-9103

 Escritório Rio: Av. Ayrton Senna 3000 / BL 2 / 107 Via Parque Offices - Barra da Tijuca
 Tel. (21) 2421-1404 - Fax (21) 2421-1802

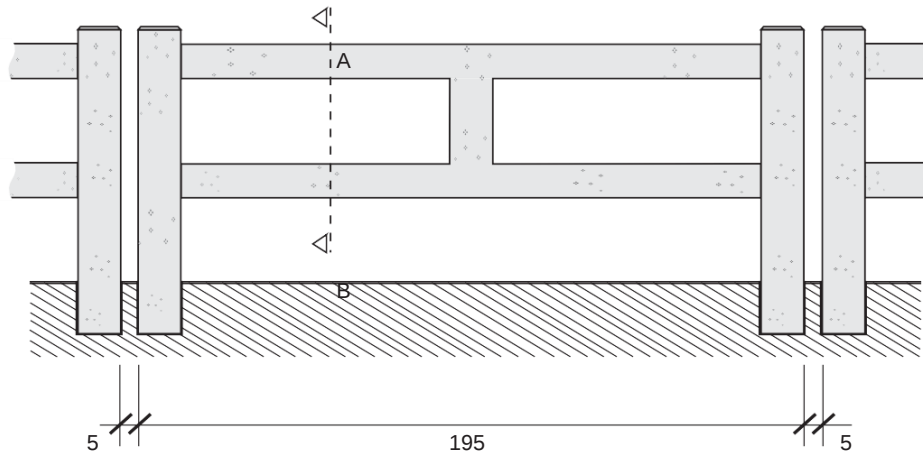
www.engemolde.com.br

e-mail: vendas @engemolde.com.br

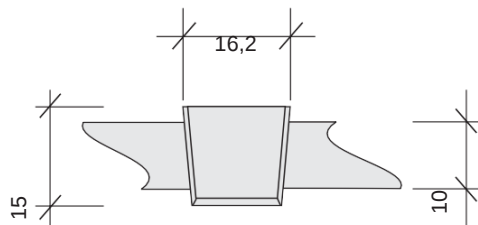
PRODUTO: GUARDA CORPO PRÉ-FABRICADO

UTILIZAÇÃO: PONTES - RODOVIAS - PASSARELAS

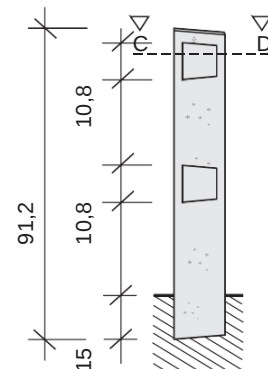
FOLHA: 10



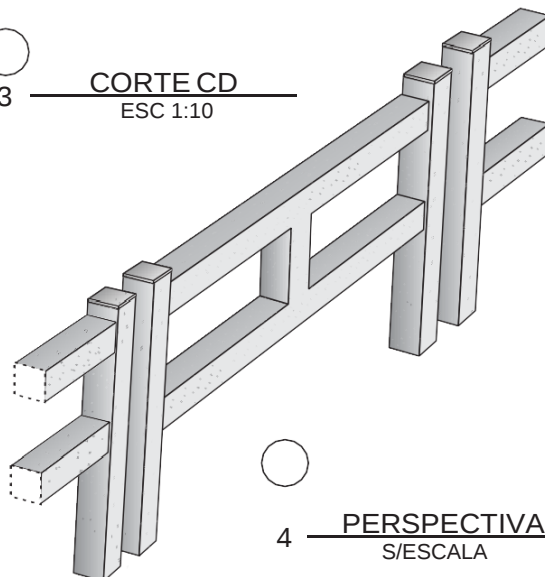
1

VISTA FRONTAL
 ESC 1:20


3

CORTE CD
 ESC 1:10


2

CORTE AB
 ESC 1:20


4

PERSPECTIVA
 S/ESCALA

NOTAS:

COTAS EM CENTÍMETROS PESO 190Kg ACABAMENTO