



Retroanálise, Inspeção e Recuperação de Pontes Rodoviárias: Estudo de Caso - Ponte Sobre o Rio das Pedras - Areia Branca/SE

Daniele Kautz Monteiro¹, Rodolfo Santos da Conceição²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe/ Coordenação de Engenharia Civil /
danielekautz@hotmail.com

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe/ Coordenação de Engenharia Civil /
rodolfo.conceicao@ifs.edu.br

Resumo

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 e construída no ano de 1972, sendo realizada uma análise estrutural no software SAP2000. Realizou-se o levantamento da geometria da estrutura, cadastro das manifestações patológicas e ensaios não destrutivos de pacometria e esclerometria. Na análise estrutural comparou-se a situação provável 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 no apoio de uma das vigas longarinas durante uma inspeção extraordinária, para o qual constatou-se ser o principal agente de diversas manifestações patológicas em vários elementos estruturais como a rachadura verificada em uma das transversinas.

Palavras-chave

Recalque de Apoio; Inspeção; Manifestações Patológicas; Análise estrutural; Ensaios não destrutivos.

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. 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 décadas é indispensável a realização de inspeções rotineiras, garantindo a durabilidade da estrutura através da execução de manutenções necessárias. Desta maneira é possível evitar grandes calamidades como ocorrido no estado de Sergipe, em maio de 2015 quando uma ponte da BR-101 sobre o Rio Sergipe ruiu, rompendo a tubulação de água de duas adutoras, causando a interrupção do abastecimento de água em algumas localidades (G1, 2015).

Considerando a importância das OAEs e a necessidade de que essas estruturas tenham sua vida útil de projeto garantida, este trabalho propõe verificar a integridade estrutural da Ponte sobre o Rio das Pedras, localizada no estado de Sergipe, na BR-235, por meio da análise estrutural, bem como indicar os procedimentos necessários para sua recuperação.

Para tanto pretende-se determinar as características geométricas da estrutura; inspecionar 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 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 as estruturas das pontes podem 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. 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.

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 congênicas quando ocorrem devido a erros de projeto, estudos inadequados das condições do local da obra e inobservância das normas técnicas vigentes; ou falhas adquiridas durante a construção devido ao uso de material, equipamentos, métodos ou mão de obra imprópria, além de falhas na comunicação entre os diversos níveis envolvidos na construção.

Além dessas classificações, as estruturas de concreto armado podem apresentar manifestações patológicas mais específicas, como corrosão das armaduras do concreto, fissuração, desagregação e disgregação.

Os ensaios não destrutivos (ENDs) são aqueles que causam nenhum dano aos elementos ensaiados, ou que causam danos mínimos que podem ser facilmente 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.

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 cobrimento das barras.

A ABNT NBR 7584 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio (ABNT, 2012) define ensaio de esclerometria como o método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido. O ensaio também possibilita acompanhar o ganho de resistência desse material ao longo do tempo através de correlações com a dureza verificada, porém o ensaio de resistência à compressão é indispensável e não deve ser substituído pelo ensaio de esclerometria.

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.

2.2 Análise Estrutural

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, variáveis ou excepcionais.

A carga acidental 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. Além disso, o veículo é circundado por uma carga uniformemente distribuída constante com intensidade de 5 kN/m².

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). 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 em função do comprimento do vão.

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 1 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.

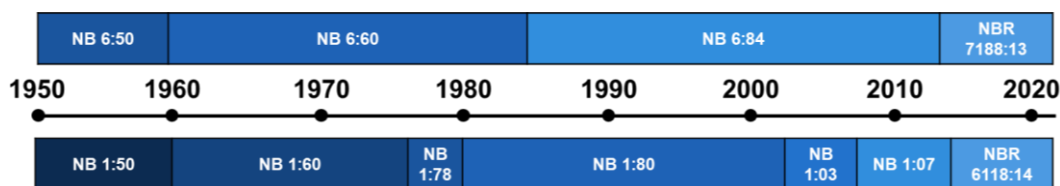


Figura 1 – Atualização das normas de cálculo estrutural.

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) e Estados Limites de Serviço (ELS).

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 1) 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).

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

Nas combinações últimas excepcionais (equação 2) 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).

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{G_i} F_{G_{ik}} + F_{Q_{exc}} + \gamma_q \sum_{j=1}^n \psi_{0j,ef} F_{Q_{j,k}} \quad (2)$$

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 Identificação Estrutural e Vistoria Técnica

Neste trabalho foi analisada a Ponte sobre o Rio das Pedras, 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. 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. 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.

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 2 e 3 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.

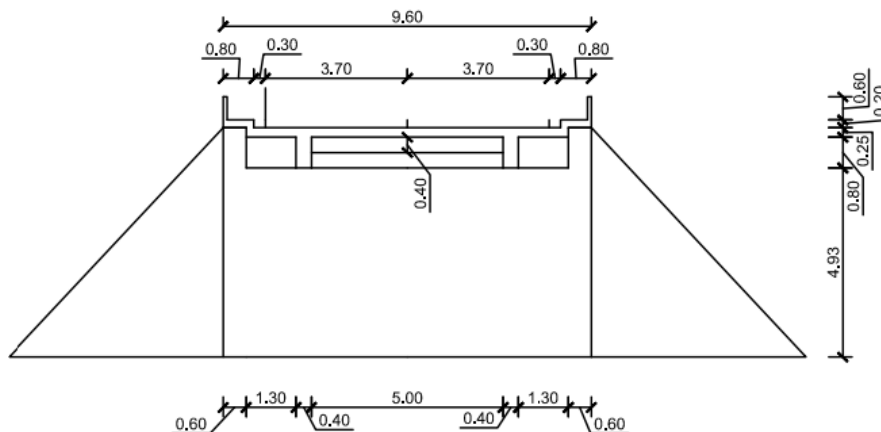


Figura 2 – Corte transversal da ponte. Fonte: DNIT (2019).

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 4, 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 cobertura das armaduras transversais. Na face superior desses elementos foi observada a presença de rachaduras longitudinais, provavelmente causadas pelas tensões geradas no concreto devido a formação de produtos expansivos no processo de corrosão das armaduras de aço.

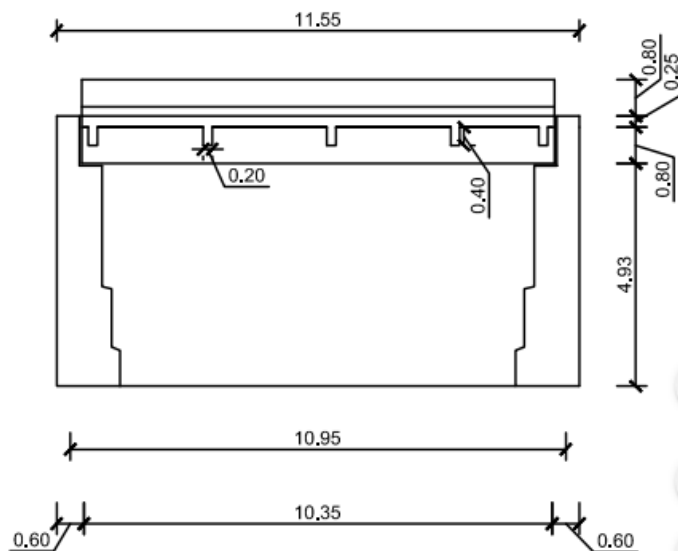


Figura 3 – Corte longitudinal da ponte. Fonte: DNIT (2019)



Figura 4 – Armaduras expostas e corroídas.

Um dos encontros apresenta uma zona significativa de desagregação. 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. Outro problema observado, e de maior destaque, foi uma rachadura do tabuleiro até a viga transversina na extremidade da ponte (figura 5). Próxima a essa manifestação patológica, foi observado um deslocamento vertical significativo da viga longarina (figura 5).



Figura 5 – Rachadura na laje e transversina e deslocamento vertical na longarina.

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. Tão grande a instabilidade desses elementos, com o passar do tempo, um deles caiu (figura 6).



Figura 6 – Contenção do encontro caída.

Na parte inferior de um dos encontros, notou-se alguns pontos de infiltração que causaram a exposição de britas devido a percolação da água. Por fim, identificaram-se nos encontros da ponte manchas de umidade ao longo das paredes.

4.2 Análise Estrutural da Ponte

Para a análise estrutural da ponte estudada, foi utilizado o *software* SAP2000 (v.21 – *evaluation*). 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).

4.2.1 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 0,02% do maior tramo da ponte. Assim, o deslocamento considerado na Ponte sobre o Rio das Pedras seria de 1,92 mm. Como o recalque verificado 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 peso próprio fornecido pelo fabricante e aplicado como carga distribuída linearmente na borda do passeio.

4.2.2 Combinações de Ações Consideradas

Foram usadas as combinações últimas normais para a situação de projeto e combinações últimas normais e excepcionais para a situação atual. 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; e 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 definido pela NB 6:1960 resulta em 1,33.

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; e 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 CIV, CNF e CIA definidos na NBR 7188:2013 para situação atual são iguais a 1,35, 1,0 e 1,25, respectivamente.

O trem-tipo foi considerado nas posições mais desfavoráveis para cada esforço/elemento analisado. Em suma para cada análise foram verificadas três combinações:

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

4.2.3 Esforços Internos atuantes nos Elementos

O modelo numérico da ponte foi realizado no SAP2000 com elementos de área, representando as lajes, longarinas e transversinas. Dessa maneira, os carregamentos do trem-tipo foram aplicados na seção média das lajes. Analisou-se as transversinas VT5 e VT4, as longarinas VL1 e VL2 e as lajes, conforme a figura 7. Os elementos foram escolhidos considerando-se principalmente as manifestações patológicas já existentes. Ressalta-se que o recalque considerado foi aplicado na extremidade da longarina VL2 próximo a transversina VT5.

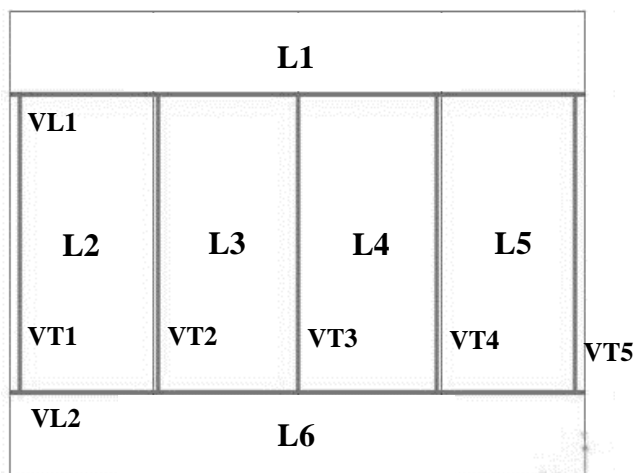


Figura 7 – Elementos estruturais da Ponte sobre o Rio das Pedras.

4.2.3.1 Tensões nas transversinas

Nas transversinas VT4 e VT5, analisou-se a tensão normal máxima ($S_{m\acute{a}x}$) e a tensão de tangencial máxima (S_{MAXV}) em uma área próxima à extremidade da transversina junto a longarina VL2 (figura 8), região na qual foi verificada a rachadura na VT5 e deslocamento de concreto na VT4. Na tabela 1, as tensões atuantes nos pontos analisados são mostradas por cada tipo de carregamento, além dos resultados das combinações de ações.

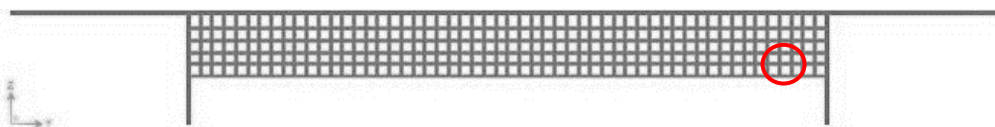


Figura 8 – Área analisada nas transversinas VT4 e VT5.

Para a transversina VT5, nota-se que as combinações normais de ações para a situação de projeto e situação atual tiveram variação na ordem de 20%, considerando o aumento da carga do veículo e as alterações de coeficientes de majoração. Porém, em relação a situação de projeto, a combinação última excepcional resultou em um aumento de tensão normal de 4.207,05%. Infere-se que a rachadura apresentada na figura 5 teve como causa principal o recalque da longarina.

Tabela 1 – Tensões atuantes nas transversinas (kN/m²).

Combinação	Transversina VT5		Transversina VT4	
	$S_{m\acute{a}x}$	S _{MAXV}	$S_{m\acute{a}x}$	S _{MAXV}
S_{d1}	1.284,38	126,55	2.980,45	514,52
S_{d2}	1.514,30	152,10	3.970,98	648,41
S_{d3}	55.318,86	924,53	25.100,85	575,69

Para a transversina VT4, nota-se que as combinações normais de ações para a situação de projeto e situação atual tiveram variação na ordem de 33,23% e 26,02%, para as tensões normais e tangenciais, respectivamente. E para as tensões normais, comparando-se a situação de projeto e a combinação última excepcional vigente verifica-se um aumento de 842,18%. Dessa maneira, pode-se inferir que o recalque da longarina também foi responsável pelo deslocamento do concreto verificado na transversina VT4.

4.2.3.2 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 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 2 mostra os momentos atuantes nos pontos analisados por cada tipo de carregamento, além dos resultados das combinações de ações.

Tabela 2 – Momentos fletores nas lajes (kNm/m).

Carregamento	M11+	M11-	M22+	M22-
S_{d1}	36,875	-6,56	93,15	-46,05
S_{d2}	47,142	-7,13	109,17	-49,00
S_{d3}	28,410	-55,28	418,12	-143,66

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.

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%. Para os M_{22} negativos, o recalque causou um aumento em relação a situação de projeto de 211,97%. Esse aumento dos momentos fletores pode ter contribuído para ocorrência das rachaduras apresentadas na figura 5 na laje L6.

4.3 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. O ensaio de esclerometria foi realizado com 16 pontos de impacto na área analisada.

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}). O coeficiente de correção encontrado para esse ensaio foi igual a 0,97. Assim, calculou-se o índice esclerométrico médio efetivo ($I_{E\alpha}$) da área ensaiada tomando como base o índice esclerométrico médio (I_E). O índice esclerométrico médio efetivo foi calculado igual a 41,64. Utilizando a curva de conversão baseada na resistência a compressão média de um cilindro e o valor de rebote fornecida pelo fabricante do esclerômetro, estimar que a área ensaiada tenha resistência de 36,4 N/mm² (36,4 MPa).

4.4 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. 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.

4.5 Recuperação da Estrutura

A recuperação da Ponte sobre o Rio das Pedras (figura 9) 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 9 – Execução da obra de recuperação da ponte.

Ambas as extremidades das longarinas junto a transversina VT5, foram macaqueadas, sendo VL1 levantada 2 cm e VL2 em 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 (figura 9). Ressalta-se que durante a realização do macaqueamento e escoramento houve a interdição total do tráfego.

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 e segregação do concreto do passeio (figura 10).



Figura 10 – Rachadura no encontro da ponte.

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.

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.

Referências

- ABNT, NB 1: Cálculo e execução de obras de concreto armado, Rio de Janeiro – RJ, 1960.
- ABNT, NB 5: Cargas para o cálculo de estruturas de edifícios, Rio de Janeiro – RJ, 1961.
- ABNT, NB 6: Cargas móveis em pontes rodoviárias, Rio de Janeiro – RJ, 1960.
- ABNT, NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, Rio de Janeiro – RJ, 2014.
- ABNT, NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento, Rio de Janeiro – RJ, 2003.
- ABNT, NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas, Rio de Janeiro – RJ, 2013.
- ABNT, NBR 7188: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestres, Rio de Janeiro – RJ, 1982.
- ABNT, NBR 7584: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio, Rio de Janeiro – RJ, 2012.
- ABNT, NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento, Rio de Janeiro – RJ, 2003.
- ABNT, NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento, Rio de Janeiro – RJ, 2019.
- DNIT, Relatório SGO - Ponte sobre o Rio das Pedras, 2019.
- DÓREA, S. C. L., SANTOS, D. G., SALES, A. T. C., SILVEIRA, P. M. D., Avaliação patológica da estrutura de concreto armado e dos componentes de uma edificação construída em 1914, Scientia Plena, 2010.
- MARCHETTI, O., Pontes de concreto armado. 3.reimpr. São Paulo-SP: Blucher, 2013.
- G1, Ponte desaba e rompe tubulação de água em Pedra Branca, SE., 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.
- SANTOS, B., SILVA, J. C., Patologia em Pontes - Estudo de Caso em Patologias da Ponte Pedro Ivo Campos e Orientação de Reforma, Palhoça – SC: UNISUL, 2017.
- SANTOS, C. A. N., Retro-análise de Estruturas de Pontes por meio de Técnicas Teórico-numérico-experimentais, Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- SOEIRO, J. M., COSTA, S. S., SILVA, A. P., CHAHUD, E., 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.