

Estudo de caso: Inspeção e Projeto de Substituição dos Aparelhos de Apoio da Ponte Helio Serejo

Diego Felipe Capraro¹, Ana Paula Brandão Capraro²

¹UFPR - Universidade Federal do Paraná / DCC / diegocapraro@ufpr.br

²UFPR - Universidade Federal do Paraná / DCC / ana.brandao@ufpr.br

Resumo

O presente trabalho apresenta os resultados da inspeção e projeto para substituição dos aparelhos de apoio (AA) da ponte Helio Serejo (Figura 1), localizada na BR-267/MS, no km 0, com extensão de 2.550m. O objetivo deste estudo é a contribuição com a comunidade científica, por meio da apresentação dos resultados encontrados e das soluções propostas. A ponte em questão foi construída em 1965 e tem sua superestrutura composta por 35 vãos de 45 m, 7 vãos de 112,50 m e 2 vãos de 78,75 m, possuindo dessa forma, 352 aparelhos de apoio (AA). Todos os aparelhos de apoio foram vistoriados e apresentaram, conforme a Tabela 01, as seguintes ocorrências de manifestações patológicas. O presente trabalho apresenta detalhadamente as manifestações patológicas, as proposições de recuperação e a solução estrutural adotada para o projeto dos consoles de concreto, que servirão de base para o serviço de macaqueamento e troca dos aparelhos de apoio deteriorados.

Palavras-chave

Recuperação; Aparelho de apoio; Macaqueamento.

Introdução

A inspeção de estruturas de concreto é uma atividade que tem por objetivo principal identificar e classificar anomalias que tendem a surgir nas mesmas, afetando suas funcionalidades e durabilidades. Este estudo de caso teve por objetivo identificar e analisar as manifestações patológicas presentes em uma ponte, bem como apresentar o projeto para substituição dos aparelhos de apoio da mesma. A obra de arte (OAE) em questão é a ponte Helio Serejo, localizada na BR-267/MS, no km 0, com extensão de 2.550m.

A superestrutura da OAE é composta por 3 diferentes tipos de vãos, sendo 35 vãos de 45 m, 7 vãos de 112,50 m, 2 vãos de 78,75 m e 2 duas cabeceiras de encontro com a rodovia, cada qual com vão de 15 m.

Cada um dos 35 vãos de 45m contam com: 4 vigas longarinas de 2,40 m de altura e seção variável I, com largura da mesa inferior de 0,60 m, largura da alma de 0,17 m e largura da mesa superior de 1,30 m, e comprimento de aproximadamente 45 m; 1 viga travessa de 1,80 m de altura, 1,60 m de largura e 11,70 m de comprimento; e 5 vigas transversinas de 2,22 m de altura, 0,25 m de largura e 10,20 m de comprimento.

Os vãos de 112,50 m possuem: 4 vigas longarinas de 2,40 m de altura, seção variável I com largura da mesa inferior de 0,60 m, largura da alma de 0,17 m e largura da mesa superior de 1,30 m, e comprimento de aproximadamente 45 m; 5 vigas transversinas de 2,22 m de altura, 0,25 m de largura e 10,20 m de comprimento; e 4 vigas caixão de altura variável de 2,39 m à 5,88 m seção retangular caixão de largura 3,3 m e espessura de 0,60 m, e 29,50 m de comprimento.

Ainda, os vãos de 78,75 m possuem: 4 vigas longarinas de 2,40 m de altura e seção variável I, com largura da mesa inferior de 0,60 m, largura da alma de 0,17 m e largura da mesa superior de 1,30 m, e comprimento de aproximadamente 45 m; 1 viga travessa de 1,80 m de altura, 1,60 m de largura e 11,70 m de comprimento; e 5 vigas transversinas de 2,22 m de altura, 0,25 m de largura e 10,20 m de comprimento.

A Figura 1 apresenta uma foto aérea da estrutura avaliada neste estudo.



Figura 1 – Foto aérea da ponte.

As pontes são obras de engenharia de extrema importância no desenvolvimento econômico e social de um país (ARAÚJO, 2019). Pontilhões, pontes e viadutos representam grande parte das obras viárias, que tem por maior objetivo transpor interferências, como rios, ruas e avenidas.

Assim como qualquer estrutura de concreto, pontes também estão sujeitas a intempéries, além de cargas móveis, variações de temperatura e ações da água. Obras de artes especiais podem apresentar diversas manifestações patológicas. Segundo Cardoso (2018), as manifestações mais comuns nessas estruturas são: fissuras, deterioração do concreto, corrosão da armadura, carbonatação, eflorescência e reação álcali-agregado.

A fim de se obter a segurança necessária sobre as pontes e ainda prolongar a vida útil dessas estruturas de grande importância, torna-se importante a realização de inspeções e manutenções, de forma a se manter padrões de funcionalidade e segurança dos elementos da OAE. Segundo Medeiros *et al.* (2020), pontes, viadutos e outras edificações necessitam de ações preventivas para que não se tornem vulneráveis a agentes internos e externos, podendo colocar em risco as condições estruturais da OAE. Seguindo a ABNT NBR 9452 (2019), os tipos de inspeções que devem ser considerados para essas estruturas são: cadastral, rotineira, especial e extraordinária.

A inspeção realizada neste estudo é classificada como especial, uma vez que se tratou de uma inspeção visual pormenorizada, comandada por um inspetor sênior e com acesso as partes de difícil acesso por meio de andaimes em embarcação.

Levando em consideração o exposto, este trabalho apresenta os resultados observados neste estudo de caso, com a análise das manifestações patológicas encontradas e do projeto de troca dos aparelhos de apoio proposto.

Histórico

A OAE estudada teve sua inauguração em 21 de agosto de 1965, possuindo então, 57 anos. O histórico de intervenções da ponte apresenta somente uma recuperação da superestrutura, realizada entre os anos 2011 e 2014, contando com a restauração do pavimento e troca de alguns aparelhos de apoio. A recuperação envolveu a demolição do piso existente e construção de novo piso estrutural em concreto armado, sendo previstos grampos de aço para fazer a interligação com a estrutura existente, e ainda, a execução de barreiras New-Jersey e dos guarda corpos metálicos nas laterais do passeio.

De acordo com o Manual de Inspeção de pontes do DNIT (2004) pontes projetadas de 1960 a 1975 possuem como características gerais largura de pista de 8,20 m, dois guarda-rodas de 90cm, com dois guarda-corpos de 0,15/0,90m sobre os guarda-rodas. As normas brasileiras empregadas para o dimensionamento e execução dessas estruturas foram as NB-1/1960, NB-2/1960 e NB-6/. As pontes

projetadas nesse período são Pontes Classe 36, pela consideração de carga de veículo de 36 tf, além das cargas móveis de multidão de 0,5 tf/m² e 0,3 tf/m². Pontes projetadas de 1985 para cá possuem como características gerais largura de pista de 12,00 m e duas barreiras tipo New Jersey de 0,40m. Essas, são Pontes Classe 45, pela consideração de carga de veículo de 45 tf, além das cargas móveis de multidão de 0,5 tf/m² e 0,3 tf/m².

Além das diferenças já apresentadas com relação as características gerais das pontes e do veículo empregado para o dimensionamento das mesmas (de 1960 para cá), as normas utilizadas para dimensionamento e execução dessas estruturas foram atualizadas também nesse período. Uma importante atualização existente foi com relação as considerações a respeito de durabilidade das estruturas, a antiga NB-1 não trazia considerações a respeito das classes de agressividade, o que atualmente é apresentado e discutido na NBR 6118 (2014) e NBR 12655 (2015).

Levando em consideração a condição mais agressiva da ponte, ela seria, atualmente, classificada como agressividade urbana, moderada (CAA II), pela elevada presença de veículos e pela presença das cidades próximas. Por ser uma estrutura em concreto protendido, se seu dimensionamento fosse feito nos dias atuais, deveria ser levado em consideração a relação água/cimento máxima de 0,55, a classe de concreto igual ou superior a 30 MPa, consumo mínimo de cimento de 280 kg/m³ e cobrimentos mínimos de 30 mm e 35 mm, para lajes e pilares/vigas, respectivamente.

De acordo com o Eng. Piotr Slawinski, que participou da obra e da dosagem e controle do concreto, segundo informações do material do Prof. Eduardo Thomaz, o concreto empregado na obra foi feito com agregados miúdo e graúdos extraídos do Rio Paraná, próximo ao local da obra, com o cimento CP1 da Votoran, com consumo entorno de 380 kg/m³, e aditivo Plastiment da Sika, sendo o traço aproximado 1:1 ½:3. Segundo o mesmo profissional, a resistência média entre 28 e 38 MPa.

Apesar do atendimento de alguns requisitos, não se pôde confirmar a relação água/cimento empregada e os cobrimentos utilizados, pela inexistência de projetos e relatórios originais.

Ainda, no que diz respeito ao histórico da ponte, o nível de água sofreu mudança considerável após a construção de barragem a jusante, como apresentado na Figura 2. A barragem de 10,2 km faz parte da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta.

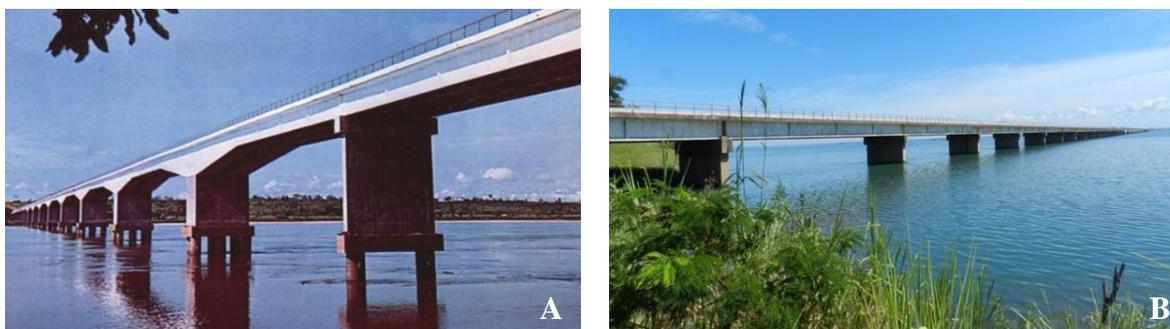


Figura 2 – Mudança no nível de água da ponte após construção de barragem a jusante. A – Nível antes da construção da barragem. B – Nível após a construção da barragem. Fonte: Eduardo Thomaz – Ponte sobre o Rio Paraná (1965).

Ainda, mais recentemente, sem data exata pela inexistência de documentações, foi reportado por moradores da região um acidente com uma embarcação. A qual se chocou com o tabuleiro da ponte, causando um deslocamento presente até os dias atuais (Figura 3).



Figura 3 – Deslocamento na ponte devido a um acidente com uma embarcação. A – Vista superior. B – Vista inferior.

Levantamento de dados

O levantamento geométrico da estrutura, bem como as informações relativas ao seu estado de conservação, foi feito por meio de uma inspeção “in loco” com o uso de três técnicas, uma servindo de complemento a outra e disponibilizando todas as informações necessárias.

Para o escaneamento da estrutura e seu levantamento geométrico foi utilizado o Laser Scanner 3D, fixado em um suporte metálico preso aos pilares. Ainda, para auxílio nos locais de difícil acesso, foi utilizado drone para obtenção de imagens.

O drone (VANT), além de auxiliar no levantamento geométrico, auxiliou na obtenção de fotografias e filmagens, com a finalidade de fazer o levantamento das manifestações patológicas (qualitativa e quantitativamente). A Figura 4 apresenta um recorte do modelo desenvolvido a partir do levantamento geométrico.

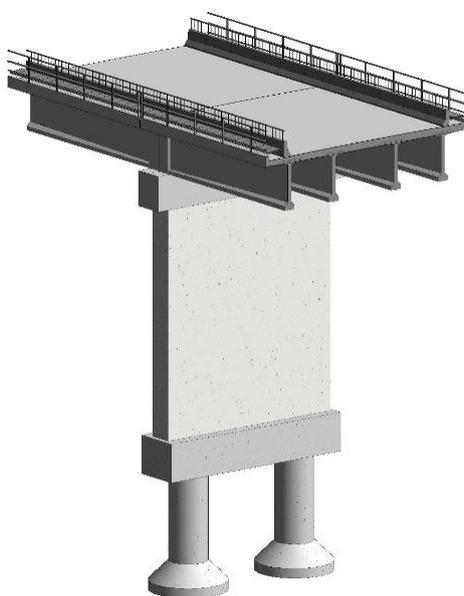


Figura 4 – Modelo desenvolvido a partir do levantamento geométrico.

Além das técnicas já apresentadas, foram realizadas inspeções visuais, na parte superior e inferior da ponte, sendo essa última por meio de embarcação de pequeno porte, no qual também foram realizadas fotografias e croquis, com o intuito de identificar as manifestações patológicas presentes na estrutura e dar suporte ao diagnóstico da estrutura.

Para visualização e diagnóstico dos aparelhos de apoio foi necessária a realização de uma inspeção visual, com acesso por meio de escada sob embarcação de médio porte, devido a necessidade de maior estabilidade.

Inspeção e Recuperação

A inspeção da OAE contou com a análise visual de todos os elementos da supraestrutura, com foco no estado de conservação de todos os aparelhos de apoio.

A imensa maioria dos aparelhos de apoio vistoriados são apoiados diretamente na viga travessa, sem berço, o que, em várias situações, demonstrou ser um problema, devido a irregularidade da base e descalçamento, em alguns pontos, dos aparelhos.

Cada pilar da ponte (total igual a 46) possui 8 aparelhos de apoio, pois são 4 vigas longarinas chegando em cada face do elemento.

Em atendimento ao disposto na NBR 9452 (2019) foi realizada a inspeção nos aparelhos de apoio verificando os casos de: ausência de aparelho de apoio, bloqueio do mesmo, posicionamento inadequado, acúmulo de detritos, ruptura, fissuras, trincas, esmagamentos, deformações laterais excessivas, deslocamentos, distorção excessiva, presença de peças oxidadas, deslocamento da fretagem, assentamento irregular com concentração de esforços e deterioração do berço de assentamento.

As anomalias encontradas nesses elementos estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Manifestações Patológicas encontradas nos AA.

Tipo	Frequência
Base Irregular/Deteriorada	96,8%
Esmagamento	05,8%
Acumulo Detritos	98,7%
Distorção Excessiva	11,9%
Fissuras	78,4%
Deslocamentos	01,9%
Estufamentos/Aberturas	10,6%

A Figura 5 apresenta dois exemplos das manifestações encontradas nos aparelhos de apoio da OAE.



Figura 5 – Exemplos de anomalias encontradas nos aparelhos de apoio da OAE. A – Manchamento e fissuras. B – Estufamento e aberturas.

Na Figura 5A é possível a visualização de um aparelho de apoio apoiado diretamente na estrutura, não havendo um berço de apoio, sendo essa base/substrato considerado irregular. Ainda, é possível observar acúmulo de detritos, manchamento e fissuras no elemento. Na Figura 5B também foi notada a ausência de berço de apoio e conseqüente substrato irregular, além da presença de fissuras, estufamento e aberturas.

Levando em consideração a generalidade de manifestações patológicas presentes nos aparelhos de apoio da OAE e o fato da inexistência ou ainda, existência inadequada dos berços de apoio aos aparelhos, indicou-se a troca de todos os aparelhos da OAE.

A inspeção dos elementos da superestrutura evidenciou, de forma generalizada, manchamentos avermelhados e/ou esbranquiçados (Figura 6). Foi notada deficiência e falta de manutenção do sistema de drenagem, o que permite a percolação e acúmulo de água no interior dos elementos estruturais.



Figura 6 – Vigas longarinas, transversinas e laje com manchas avermelhadas (indício de corrosão) e esbranquiçadas (indício de lixiviação).

Ainda, nessa parte da estrutura, ainda foram encontrados alguns pontos com falhas de concretagem e exposição das armaduras, como exemplificado na Figura 7A, e outros com deslocamentos e indício de estado ativo de corrosão (Figura 7B), pelo manchamento, completa exposição e, em casos críticos, perda de seção das armaduras.



Figura 7 – Exemplos de anomalias encontradas nos elementos da superestrutura. A – Viga longarina com armaduras expostas por falha de concretagem. B – Laje com armaduras expostas com indícios de corrosão (manchamento).

As falhas de concretagem observadas podem ser justificadas pela elevada DMC do agregado utilizado, além da baixa aderência do material, por tratar-se de seixo rolado. Vale destacar que no ano da construção da ponte não eram válidas as recomendações normativas atuais, como a NBR 6118 (2014) que estabelece o diâmetro máximo característico do agregado em função do elemento estrutural e sua taxa de armadura.

Ainda, no que diz respeito a exposição de armaduras e ocorrência do mecanismo de corrosão, em muitos postos foram observados baixos cobrimentos, inferiores a 1cm, o que colaborou para a degradação dos elementos.

Para os elementos manchados foi indicada a limpeza de todos os pontos por jateamento e, posteriormente, para reestabelecimento da porosidade do elemento estrutural e aumento da vida útil

do mesmo, aplicação de nata cimentícia. Nos casos de nichos, eles devem ser fechados, posteriormente ao tratamento da armadura exposta.

Os pilares, elementos da meso-estrutura, foram vistoriados acima do nível de água e, de modo geral, foi observado um bom estado de conservação nos elementos. Contudo, ainda pela falta de manutenção e pela condição de exposição, observou-se de forma generalizada, o manchamento e o desgaste superficial na zona de transição do nível de água, como apresentado na Figura 8.



Figura 8 – Pilar manchado e desgastado na zona de transição com o nível de água.

De forma semelhante ao estabelecido para os elementos superestruturais, os pilares com manchamento devem ser jateados e posteriormente, recobertos com nata cimentícia, para estabelecimento da área.

Projeto de troca dos aparelhos de apoio

Após estudo de viabilidade técnica e econômica, comparando as soluções em consoles metálicos, com reaproveitamento, e consoles de concreto armado moldado *in loco*, optou-se pela segunda opção, pois oferece maior durabilidade e permite uma futura substituição ou manutenção.

Com a finalidade de obter o pior caso para as reações verticais dos aparelhos de apoio e dimensionamento do mesmo, foram consideradas as possíveis posições do veículo-tipo no tabuleiro, próximos aos apoios, um dos carregamentos considerados pode ser observado na Figura 9.

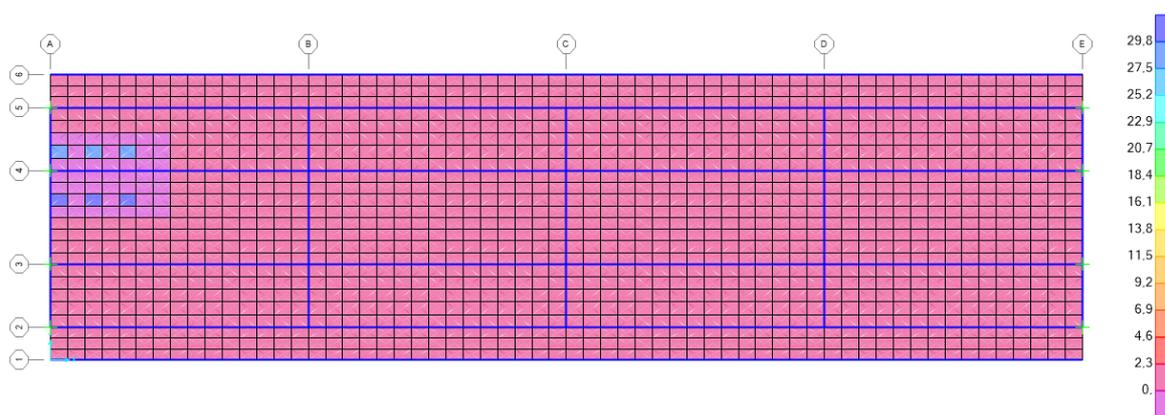


Figura 9 – Combinação de carregamento com o veículo-tipo próximo ao apoio.

A maior reação de apoio encontrada foi de 137 toneladas, porém como segundo a norma ABNT NBR 11530 (2009), para equipamentos de elevação, o macaco hidráulico deve suportar uma carga 50% maior que o valor máximo especificado, o macaco utilizado para erguer o tabuleiro deve ter capacidade última de pelo menos 200 tf.

Para os aparelhos de apoio sobre as vigas travessas, o macaqueamento da estrutura será realizado de forma simultânea, nos 8 consolos ao mesmo tempo, conforme Figura 10 B. Dessa forma, não surgem

esforços adicionais de torção nas vigas travessas, nem acréscimo de momento fletor nos pilares e fundação, uma vez que o carregamento aplicado de cada lado é simétrico, assim como a excentricidade de carga. Vale destacar que ocorrerá interrupção de tráfego momentaneamente, de forma a não haver acréscimo de carga ocasionado pela passagem de veículos. Com a carga resultante em cada console de concreto, os mesmos foram dimensionados.

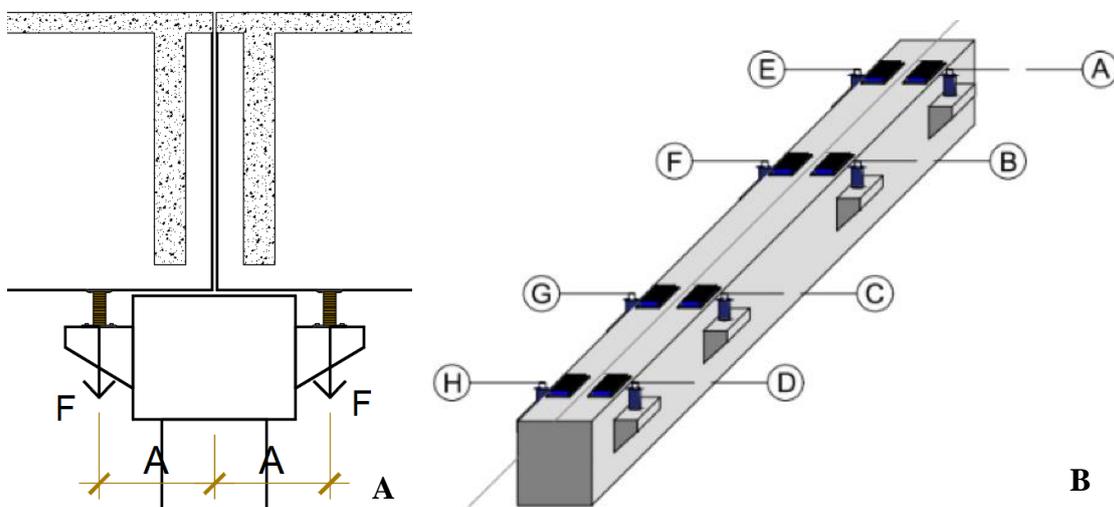


Figura 10 – Solução de macaqueamento dos aparelhos de apoio sobre viga travessa. A – seção transversal ; B – vista isométrica.

Para a substituição dos aparelhos de apoio presentes nos dentes gerber das vigas caixão em balanço, foi proposta a instalação de consolos novos na viga transversal inferior do dente gerber, e ainda, a execução da viga transversina nova, de concreto, ligando as longarinas. Essa nova viga tem a função de receber o carregamento do macaco, a fim de levantar o tabuleiro, conforme esquematizado na Figura 10.

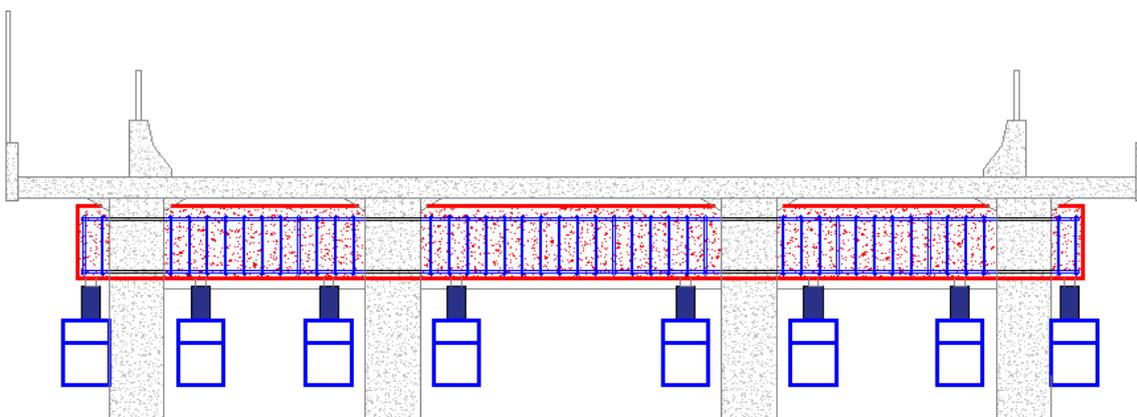


Figura 10 – Solução de macaqueamento dos aparelhos de apoio dos dentes gerber.

No dimensionamento dos consolos para a armadura do tirante foram utilizadas barras de aço tipo DYWIDAG 1050, 32mm de diâmetro, esse aço teve sua seção de cálculo reduzida em 20%, considerando os esforços atuando na rosca da barra. Na Figura 11 é possível observar a disposição das barras DYWIDAG em magenta e barras CA-50 em azul. As barras serão inseridas na estrutura existente com uso de adesivo epóxi, para aumento da aderência.

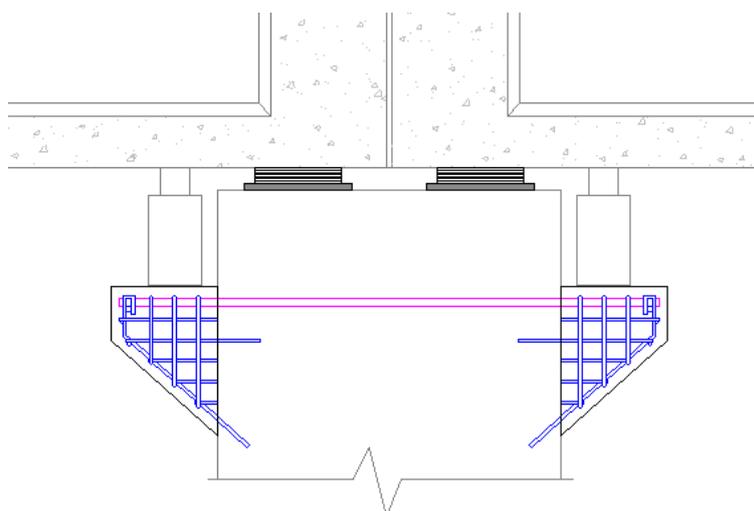


Figura 11 – Armadura dos novos consoles de concreto nas vigas travessas.

A Tabela 02 indica que a verificação mais restritiva no dimensionamento da armadura dos consoles de concreto é a verificação do esforço de cisalhamento, combinado com tração, que necessitou a adição, além das barras superiores do tirante principal, armaduras inferiores, de forma a ter maior área de corte.

Com a finalidade de estar a favor da segurança, foi admitida uma armadura principal do tirante do pior dos casos, de 6 Φ 32 mm. A armadura obtida pela norma NBR 9062 (2017) resultou na maior quantidade de aço, uma vez que ela leva em conta um coeficiente μ , que considera a concretagem lançada em um concreto já endurecido com superfície lisa, que é o caso deste projeto, o que aumenta a quantidade de aço necessária para o tirante, consideração que os outros métodos não fazem.

Tabela 2 – Modelos de dimensionamento dos consoles.

Modelo	Biela comprimida	Armadura Tirante
NBR 9062: 2017	Atende	6 Φ 32 mm
Biela e Tirante, cálculo manual	Atende	3 Φ 32 mm
Biela e Tirante, Treliça no Ftool	Atende	3 Φ 32 mm
Santos e Stucchi (2013)	-	2 Φ 32 mm
Viga em balanço	-	2 Φ 32 mm
Verificação do Cisalhamento	-	6 Φ 32 mm
Tração e corte combinados	-	6 Φ 32 mm (950 Mpa) + 12 Φ 16 mm (50 Mpa)

Conclusões

A OAE, pela idade e falta de manutenção, apresenta anomalias que trazem impacto ao seu desempenho e funcionalidade, sendo classificada, segundo os critérios da NBR 9452 (2019), com nota 3 para a avaliação estrutural, 3 para avaliação funcional e 2 para avaliação da durabilidade. A inspeção resultou em um projeto de recuperação estrutural e um projeto de substituição dos aparelhos de apoio, que necessitou a previsão de consoles de concreto chumbados na estrutura existente com adesivo epóxi.

Pela inspeção e projetos desenvolvidos neste estudo fica clara a importância da inspeção e manutenção de obras de arte respeitando o intervalo sugerido pela norma DNIT 010 (2004). Algumas manifestações observadas puderam ser justificadas por falhas executivas, como nichos e segregações, contudo, em outros casos, a falta de manutenção foi responsável pela obstrução de drenos e

consequente acúmulo de água na estrutura, resultando em manchamentos avermelhados, esbranquiçados, deslocamentos e corrosão de armaduras.

Quanto ao projeto de troca dos aparelhos de apoio nota-se a complexidade do mesmo, seja pela necessidade de macaqueamento de uma estrutura já com indícios de mecanismos deteriorantes, ou pela interrupção do tráfego de uma importante via de ligação entre dois estados. Assim sendo, a inspeção e limpeza dos aparelhos de apoio devem permanecer ocorrendo, mesmo após a troca dos mesmos.

Referências

- ARAÚJO, C. J. R. V. Engenharia de manutenção. FNE. Brasília, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118/2014 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655/2022 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452/2019 – Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062/2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11530/2009 – Veículos rodoviários automotores - Macacos hidráulicos - Especificações. Rio de Janeiro, 2009.
- CARDOSO, L. B. Análise das Manifestações Patológicas em pontes e viadutos no litoral do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.
- DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES) (2004) – “Inspeção em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento (NORMA DNIT 010/2004 - PRO)”. Rio de Janeiro, 2004.
- MEDEIROS, A. G. et al. Aplicação de metodologia de inspeção em ponte de concreto armado. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p.687-702, jul./set. 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212020000300687&tlng=pt. Acesso em 10 de maio 2021.
- SANTOS, D. M.; STUCCHI, F.R. “Dimensionamento de consolos de concreto com o auxílio de modelos de bielas e tirantes – Parte II: Prescrições normativas, detalhamento e aplicações”. Revista Técnica edição 193. 2013