



Retrofit de Sistemas de Pontes de Concreto Pertencentes à Rodovia "ALÇA VIÁRIA" da Região Metropolitana de Belém – Pará – Brasil

Leila A N M Pamplona¹, Marcelo S Picanço², Adler A Silveira³, Pedro A. Almeida⁴

¹ Universidade Federal do Pará / leilanmartins@yahoo.com.br

² Universidade Federal do Pará / marcelosp@ufpa.br

³ Secretaria do Estado de Transporte do Pará / adleralmeidadasilveira@gmail.com

⁴ Universidade de São Paulo / palmeida@usp.br

Resumo

Trata-se da readequação da alça Viária da Região Metropolitana da Cidade de Belém, no Estado do Pará, que foi construída no início dos Anos 2000, com um traçado que percorre a região Sudoeste da área metropolitana, com 87 km de extensão, atravessando os três maiores rios da do delta do Amazonas, Rio Guamá, com uma travessia de extensão de 1.975 m, Rio Acará com 860 m e Rio Moju com 860m. A readequação dos sistemas estruturais decorre da alta incidência de impacto de barcaças que tem frequentemente ocorrendo ao longo dos últimos vinte anos de vida das estruturas. Isso resultou em danos significativos aos pilares e blocos, cujo foi necessário retrofit de sistemas estruturais com troca de cabos-estais da maior ponte “Ponte Estaiada do Guamá”. Além disso, também exigiu a construção de proteções flutuantes, nas pontes do Moju e do Acará. Por isso, a Secretaria de Estado e Transportes do Pará vem desenvolvendo esforços para garantir o funcionamento do sistema.

Palavras-chave

Estaiada, ponte, requalificação, alça-viária.

1 Introdução

A investigação aborda a readequação das pontes da Alça Viária da Região Metropolitana da de Belém, no Estado do Pará, que foi construída no início dos Anos 2000, com um traçado que percorre a região Sudoeste da área metropolitana, com 87 km de extensão, atravessando os três maiores rios paraense do delta do Amazonas, Rio Guamá, Rio Acará e Rio Moju. O Rio Guamá tem uma travessia de 1,975.0 metros de extensão, o Rio Acará com 860m e Rio Moju com 860m. As três pontes são formadas por diferentes sistemas estruturais sendo a ponte estaiada de travessia do rio Guamá construída, com o vão central de 320m de comprimento, com dois mastros em formato H e dois vãos laterais, totalizando 720m de comprimento. Os trechos de acesso são construídos em vigas retas pré-moldadas de concreto protendido, com vãos médios da ordem de 40m. As pontes sobre o Rio Acará e sobre o Rio Moju são originalmente com seção composta aço-concreto, com um vão de navegação de 88 metros, em cada uma. Essas pontes hoje têm idade de 20 anos, e nos últimos 3 anos passam por profundas adequações tanto no sistema estrutural principal quanto nos sistemas de proteção dos apoios laterais dos vãos de navegação. A readequação dos sistemas estruturais decorre da alta incidência de impacto de barcaças que tem frequentemente ocorrendo ao longo dos últimos vinte anos de vida das estruturas, causando grandes danos nas estruturas o que demandou do Governo do estado nos últimos 10 anos uma profunda readequação dos sistemas estruturais com troca de cabos-

estais da maior ponte “Ponte Estaiada do Guamá”, a construção de um trecho estaiado na ponte sobre o Rio Moju e instalação de defensas flutuantes de proteção das pontes Acará e Moju.

Recentemente, em janeiro de 2022 diante do terceiro e grave acidente acontecido na ponte do Outeiro, que atravessa o Canal do Maguari, resultou inicialmente no isolamento da ilha causando grave impacto socioeconômico na população. O acidente que culminou com a ruína de um dos apoios do vão central de navegação levando a interdição imediata do trânsito sobre a ponte.

Diante disso, a Secretaria de Estado e Transporte do Pará vem desenvolvendo esforços para a readequação do sistema com a manutenção das pontes em operação para atender o tráfego da região tanto de navegação fluvial quanto dos usuários da Alça Viária, como descrito a seguir.

2 A manutenção das pontes da Alça Viária

2.1 Considerações sobre a manutenção

Após as investigações realizadas verifica-se que a causa raiz dos choques de embarcações nas estruturas de sustentação das pontes: estacas; blocos e pilares, decorre da precariedade das defensas originais instaladas nas pontes. Essas defensas foram idealizadas flutuantes fixas em estacas no fundo do canal. Pela falta de robustez e resiliência, as defensas de todas as 4 pontes da alça viária foram danificadas prematuramente e pereceram, deixando as estruturas de apoio das pontes sem nenhuma proteção aos impactos das balsas ou assemelhados. Visando mitigar essa grave situação encontrada, a SETRAN iniciou em 2022 a construção de um sistema de proteção robusto e de grande resiliência das pontes do Acara e Moju Alça, desenvolvendo um sistema de defensas flutuantes, que foram instaladas em 2020 e se encontram em operação. As defensas da ponte Moju Cidade e de Ponte Outeiro são fixas e encontram-se significativamente danificadas diante dos frequentes impactos que ocorrem. Atualmente os apoios da ponte estaiada do Guamá encontra-se sem proteção.

2.2 Ponte estaiada sobre o Rio Guamá, Ponte Almir Gabriel

Ponte estaiada Governador Almir Gabriel, localizada na Alça Viária km 14, sobre o Rio Guamá. A ponte estaiada tem três canais de navegação, sendo dois vãos laterais de 132,35 m e um vão central de 320 m, totalizando 584,70 m de comprimento de trecho estaiado. Foram construídos dois mastros P18 e P19, de 98,6 m de altura assentado sobre bloco com 97 e 91 estacas, respectivamente. O diâmetro das estacas é de 0,80m, cravadas até 45 m e 39,50 de profundidade, respectivamente. O tabuleiro da ponte foi pré-moldado em concreto protendido, travadas com transversinas, em módulos (aduelas) na ordem de 7,40 m. Este tabuleiro é suportado por 152 cabos-estais sendo 8 de retaguarda, que são fixos em contrapesos nos pilares P17 e P20, onde foram instalados tirantes em vigas metálicas de reação. Esses mecanismos de contrapeso são acionados diante de carregamentos de combinações assimétricas no tabuleiro, evitando-se a reação negativa dos apoios. Os esforços nos estais de retaguarda foram dimensionados para considerarem a diferença de comprimento entre os vãos central (320 m) e a soma dos vãos laterais (264,70 m), o que resulta um momento fletor maior nos mastros, ocorrendo a rotação destes no sentido do vão central, conforme Figura 1.



**Figura 1 - Vista geral da ponte com mastro
construído com 2 pilares de sustentação
dos cabos-estais, foto com drone, LSE**

Desde a sua inauguração, ocorrida em 20/09/2002, até 2015, não houve inspeção ou manutenção dos estais. Essa situação somente foi regularizada em 2013 quando ocorreram a Inspeção Técnica na estrutura do tramos, estaiado e correntes, realizada pela Paulo Barroso Engenharia Ltda, em abril/2013 e a Avaliação Técnica para a medição das forças dos estais realizada pelo LSE - Laboratório de Sistemas Estruturais Ltda, em agosto/2013.

Na inspeção foi identificado a danificação sistemática das cordoalhas dos cabos estais, decorrente da infiltração de água nas ancoragens do tabuleiro, que são agravadas pela flutuação de tensões induzidas pelo tráfego de veículos e ação do vento, levando a redução da vida útil do estaiamento da ponte. Essa corrosão prematura determinou a substituição de todas as cordoalhas dos cabos estais que foi realizada até final do ano 2019.

Os procedimentos da substituição das cordoalhas foi regida pelas recomendações dos Boletim fib 30 “Recommendation for Acceptance of Stay Cable Systems using Prestressing Steels”, da Federação Internacional do Beton FIB, ou PTI Guide Specification (2001) “Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation, do Pos-tensioning Institute, ambas são Associações Internacionais detentoras dos padrões de qualidade mínima exigida internacionalmente para pontes estaiadas, com tecnologia certificada de montagem e desmontagem de estais, com comprovação de equipamentos para estaiamento de pontes, visando a substituição de todos os 152 estais da Ponte Estaiada, individualmente. Esta foi a premissa de contratação para se dar o início das obras.

Em 2015 a Secretaria de Transporte contratou a empresa LSE como gerenciadora e certificadora responsável por realizar inspeções e certificação das substituições dos estais desta estrutura. A avaliação final e certificação do sistema estrutural da Ponte Almir Gabriel, realizada em janeiro de 2019, além da realização de prova de carga dinâmica e quase estática que visou avaliar as respostas estruturais da ponte e compará-las ao modelo numérico desenvolvido com base nos projetos executivos da OAE, o que culminou na certificação dos serviços realizados de readequação estrutural, onde foram substituídos os 152 estais da ponte, bem como os tirantes dos pilares P17 e P20, além da substituição dos aparelhos de apoio metálicos e a revitalização das juntas de dilatação.

Todo o processo de manutenção da estrutura durou 5 anos, pois foi executada em etapas através de dois contratos administrativos celebrados com a Secretaria do Estado de Transporte. O custo operacional de toda esta manutenção alcançou o montante de \$9,5 milhões de dólares, entre os anos de 2012 e 2019.

2.3 A revitalização da ponte sobre o Rio Acará com instalação de defensas flutuantes

A ponte de travessia do rio Acará tem 860 m de comprimento e faz parte do complexo da Alça Viária, figura 2. Essa ponte foi construída com 18 apoios além dos dois encontros E1 e E2 nas margens direita e esquerda respectivamente. O tabuleiro é formado por sete (7) vigas longarinas (módulos) em toda a sua extensão. Cada travessa de apoio tem 4 aparelhos de apoio, com exceção dos apoios de descontinuidade das longarinas, que possuem 8 aparelhos de apoio. O sistema de apoio das longarinas contém 104 aparelhos.



Figura 2– Vista da margem direita da Ponte Acará, LSE, 04/10/19.

Após o acidente ocorrido em abril de 2019 na ponte Moju Alça e considerando que o sistema estruturas de ambas são similares, foram realizadas inspeções detalhadas do comportamento estrutural diante do tráfego aleatório diário. Ao longo dessas inspeções foram identificados danos nos apoios que levou a completa revisão de todo o sistema, figura 3.



Figura 3 – Detalhe transversal do aparelho de apoio multidirecional 01 do E1, 10/10/19.

Quanto a proteção dos apoios da ponte, foi concebido no projeto inicial sistema de defensas fixas, para proteção de blocos e pilares que foram prematuramente danificadas e pereceram nos primeiros anos de vida útil da ponte. Nos relatórios LSE2019330718 de 06/2019, ficou evidenciado

que as defensas estavam completamente danificadas e sucateadas com pedaços ancorados na margem do rio.

O estado de degradação desta estrutura é tão relevante, que o relatório citado acima detalha não só os deslocamentos dos aparelhos de apoio, como a situação de esmagamento dos berços de apoio decorrentes das cargas verticais dos caminhões que trafegam pela estrutura, os quais ao perder sua integridade, mobilizando as transversinas de apoio em situações não previstas no projeto original. O estado era tão precário, que possibilitou crescimento de vegetação que comprometeu a integridade da viga travessa, com fendilhamento por enraizamento de árvores, detalha o relatório.

Diante dessa verificação, foram feitas perícias técnicas dos órgãos de segurança do Estado, o que levou a delimitação de tráfego na estrutura para que pudesse ser viabilizada as obras de recuperação, com as substituições de todos os aparelhos de apoio, juntas de dilatação e retrofit da estrutura.

Também foram construídas defensas flutuantes, figura 4, para que não houvesse novos impactos de barcas nas estruturas de apoios, garantindo assim a manutenção da integridade e a segurança da estrutura e da população.

Os custos contabilizados para esta restauração e fornecimento de defensas foi de \$7,6 milhões de dólares.



Figura 4 – Vista lateral defesa flutuante Ponte do Acará.

2.4 A reconstrução da Ponte sobre o Rio Moju (Ponte União)

A ponte original do Moju, chamada atualmente como Ponte União, tem 880 m de comprimento total, construída com sete vigas contínuas de aço. Essas vigas são apoiadas em dois encontros: E1 na margem direita; E2 na margem esquerda e 19 apoios intermediários. A seção transversal da ponte original é formada por dois caixões trapezoidais de aço, solidarizada por uma laje de concreto, formando uma seção mista aço-concreto com duas células, travadas no vão por treliças e nos apoios por chapas de aço.

Com o relevante acidente que ocorreu em 6 de abril de 2019, no Estado do Pará por conta do colapso da estrutura, após colisão de barcaça na região dos pilares de sustentação da ponte Moju interrompeu a principal artéria de integração rodoviária da grande Região Metropolitana de Belém, comprometendo em grande parte as atividades socioeconômicas desta relevante Região do Norte do Brasil. O incidente do desabamento parcial do trecho central, com comprimento de 268 m, sobre o canal de navegação do Rio Moju, comprometeu permanentemente os apoios dos pilares sinistrados AP7, AP8, AP9 e AP10. Entretanto, em função das duas juntas estruturais, construídas no P6 e no

P11, os trechos de acesso ao vão central não tiveram a sua integridade estrutural comprometida, o que possibilitou a readequação da região do canal de navegação com melhoria da navegabilidade e do trânsito da “Alça Viária”, reduzindo assim o risco de novos impactos nas estruturas de apoio da ponte.

Ressalta-se que além da construção de uma nova ponte para substituir o trecho colapsado, se fez necessário também providenciar uma travessia emergencial permitindo o fluxo de veículos entre a margem direita e esquerda do rio Moju, através do emprego de balsas e empurradores, com a devida elaboração de projeto de navegabilidade e sinalização.

A avaliação da integridade estrutural foi orientada para as estruturas remanescentes nas margens esquerda e direita do rio, que são isoladas do trecho central por juntas estruturais que impediram (isolaram) a estrutura e evitaram o colapso completo da ponte, causado pela grande energia do impacto no pilar AP8.

A melhoria da navegabilidade decorre do aumento do gabarito de navegação, originalmente construído com 77,0 metros de largura por 23,0 metros de altura, que passará para 134,0 metros de largura, mantendo-se a altura de 23,0 metros. Para o aumento da largura do vão navegável tornou-se necessário a reconstrução do trecho da ponte, com a mesma altura de navegação, portanto mantendo a altura da viga, mas com um comprimento maior. Essas características estruturais são atendidas com um sistema de ponte estaiada que foi idealizada para ser construída no vão central da ponte, entre os apoios AP6 e AP11. No trecho do desabamento pertencente ao canal de navegação original definido pelos pilares P7 e P8, com gabarito de 79m de largura e 23m de altura, foi projetada uma ponte estaiada, com 268,0m de comprimento, sustentada por dois planos de estais, laterais, tipo leque, com cada um formado por 20 cabos-estais. Esses cabos são ancorados no tabuleiro e no mastro, com altura de até 97 m de comprimento. O tabuleiro permaneceu com a mesma largura útil dos vãos remanescentes, mantendo-se assim as características viárias da ponte. O mastro foi projetado com dois pilares de concreto estrutural com altura total de 85m (a partir do topo do bloco) e seção constante, tipo caixão, com 3,5mx6,5m, com paredes de 1,40m no lado menor e 1,0m nos lados maiores. As ancoragens dos cabos deverão ser instaladas no trecho de aço do mastro com altura de 12m.

Esta obra ocorreu em sete meses, com números surpreendentes. Conforme o artigo publicado, em February 3-5, 2021, no simpósio de Christchurch, New Zealand (Rehabilitation the União Bridge by stay-cable system), pelo Engenheiro Civil Dr. Pedro Almeida, foram cravadas 45 estacas de 1,2 m de diâmetro a uma profundidade de 35 a 54 m. Os dois mastros centrais mediram 94,2 m de altura com uma seção transversal de 3,5m x 5,5m. Os dois blocos de sustentação do mastro também tinham dimensões expressivas de 16m de largura, 28m de comprimento e 10.8m de altura. Conforme o Dr. Pedro, enquanto a ponte estava sendo reconstruída, mergulhadores trabalham 24 horas por dia no fundo do rio para remover cerca de 80% dos escombros da estrutura original resultante do colapso. Conforme citado no artigo, foram retiradas cerca de 9.000 toneladas de escombros entre pedaços do tabuleiro colapsado, barcaça e empurrador, a uma visibilidade no fundo do rio de 8 nós, com baixa visibilidade. Isto porque as águas dos rios amazônicos são turvas e barrentas, o que dificulta ainda mais a operação. Esta foi a obra mais rápida neste porte construída na Amazônia e no Brasil.

O custo total aplicado nesta obra foi de \$50 milhões de dólares, divididos em projetos, gerenciamento e execução de obras, retirada de entulho, desmantelamento dos entulhos, infraestrutura para travessias e apoio às rodovias adjacentes para garantir o tráfego da população na região. Ressalta-se que o Estado do Pará, em tempo recorde, apurou os fatos, e cobrou na justiça a obrigação de que a empresa causadora do acidente pagasse os custos referentes à execução das obras, o que garantiu a eficiência na execução.

3 Conclusões

Conclui-se dos estudos realizados que os acidentes decorrentes de impactos de barcaças que se chocam nos apoios das estruturas das pontes do complexo da Alça Viária são constantes. Nos últimos 5 anos foram contabilizados 05 grandes acidentes, culminando em colapso parcial grave com perda de parte do tabuleiro e comprometimento de apoios nas três estruturas investigadas. Outro fato comprovado foi a falta de inspeção prévia, rotineira e manutenção preventiva e corretiva que estas estruturas deveriam estar recebendo ao longo dos seus 20 anos de construção. Apenas a partir de 2018, efetivamente ações de recuperações foram executadas, trazendo para os custos um elevado aumento, em relação aos que poderiam ter sido investidos ao longo de 20 anos.

Foi investido um total de \$67 milhões nos últimos anos. Se comparamos o custo atualizado para a construção de uma ponte em concreto estaiada na região amazônica, esta seria de \$43 mil dólares por metro de ponte. O que nos leva a constatar que o custo de construção das três estruturas atualizados seria de \$158 milhões de dólares, os quais devem ser previstos 1,2% para manutenções anuais, ou seja \$1,8 milhão de dólares, se projetarmos para 20 anos este custo de manutenção seria de \$38 milhões, ou seja 50% do custo despendido pelo estado em 5 anos.

Com base em todo o exposto, é necessário e urgente que seja implementado um sistema de gestão de pontes para os rios da Amazônia, específico para a região, que contemple análise das navegabilidades específicas, cujas atualmente têm sido os maiores causadores de desastres nestas estruturas.

Outro ponto crucial, vem apontar a necessidade de execução instruções normativas específicas para a regulamentação de vão livres navegais tanto em comprimento quanto em altura (gabarito aéreo). Os vãos navegáveis em projetos regionais amazônicos precisam delimitar um espaçamento físico mínimo a fim de garantir que as barcaças possam navegar sem arriscarem as estruturas de apoios das pontes.

A idade média das pontes no Brasil vem aumentando continuamente desde 1960, o que significa que as pontes estão envelhecendo, apesar do orçamento de manutenção limitado, devido ao gargalo do desenvolvimento econômico do Brasil em infraestrutura de transporte. [4] Todas estas ações subsidiarão aos gestores tomadas de decisão, inclusive para construções de novas estruturas, visto ainda ser uma região com vasta demanda para construção de pontes com vãos navegáveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio e os dados fornecidos pela Secretaria de Transporte do Estado do Pará (SETRAN). Os conteúdos aqui discutidos baseiam-se exclusivamente nas observações científicas feitas pelos autores, utilizando fontes de dados publicados e de relatórios internos dos projetos citados. Pelo apoio financeiro, os autores também agradecem ao Governador do Estado do Pará, Excelentíssimo Senhor Helder Barbalho, pelo incentivo ao fomento de fomento à Pesquisa no Estado.

Referências

- [1] ABNT. NBR 9452. Vistoria de pontes e viadutos de concreto. Rio de Janeiro, 1986.
- [2] ALMEIDA. André Esteves Ferreira de Análise de etapas construtivas em pontes estaiadas. Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Projeto de Estruturas, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- [3] CARLOS DAHER PADOVEZI, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, São Paulo/Brasil, padovezi@ipt.br Evolução Técnica dos Sistemas Flutuantes de Proteção de Pilares de Pontes
- [4] CRUZ, C.O., MARQUES, R. C.; FRANCO, D. Rede Rodoviária Desenvolvimento em Economias de Rápido Crescimento: Estudo de Caso Brasileiro MG-050 Journal of Infrastructure Systems, v. 21 (4), 254-261, 2015.
- [5] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (DNER). Manual do projeto de Obras de Arte Especiais. Rio de Janeiro, 1996.
- [6] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (DNER). Manual de Projeto de Obras-de-arte Especiais. Rio de Janeiro, 1996.
- [7] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Norma DNIT 091. Tratamento de aparelhos de apoio: concreto, neoprene e metálicos – Especificações de serviço. Rio de Janeiro, Brasil. 2006.
- [8] JOSÉ AFONSO PEREIRA VITORIO, Acidentes estruturais em pontes rodoviárias: Causas, diagnósticos e soluções, 2007
- [9] LSE-R201633-20190131-R24 - 31/01/20219
NBR 7187:2003 – Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento
- [10] RODRIGO RODRIGUES FREIRE GOMES, Graduado em Geografia (UFG, 2017), Clima no Pará - <https://www.infoescola.com/geografia/clima-do-para/> AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318 – Building Code Requirements for Structural Concrete. 2005.