



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

## **Modernização de Pontes Antigas Ponte Sobre o Rio Jucu – BR101 - ES Jorge Martins Sarkis<sup>1</sup>, Paulo Jorge Sarkis<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Sarkis Engenharia Estrutural Ltda. / jmsarkis@gmail.com

<sup>2</sup>Sarkis Engenharia Estrutural Ltda. / pjsarkis@gmail.com

### **Resumo**

Para atender o programa nacional de recuperação e modernização de pontes antigas e duplicação de estradas, foram desenvolvidos projetos para 21 obras na BR 101, sendo onze de reforço em pontes existentes, em torno do acesso à Guarapari, no Estado do Espírito Santo. O trabalho apresenta o caso da Ponte sobre o Rio Jucu, 30 km ao Sul de Vila Velha e Vitória, com ênfase em alguns procedimentos peculiares resultante da idade do projeto e da construção.

Numa situação bastante rara em construções com essa idade, o projeto é de 1957, foi possível recuperar o projeto e a memória de cálculo da época. Isso facilitou definir a resistência da estrutura original e projetar os reforços.

Nas vigas foi utilizada a protensão externa, na face inferior das lajes malha de fibra de carbono e na face superior das lajes lâminas inseridas de fibra de carbono.

A operação mais delicada ficou por conta da substituição de uma rótula plástica de concreto por um aparelho de Neoprene. Na época em que foi feito o projeto original era recomendado o uso das chamadas armaduras passantes nesse tipo de apoio.

O trabalho descreve a delicada operação de macaqueamento realizada para poder cortar as armaduras passantes, além dos recursos para reforço e alargamento da ponte.



**Figura 1 – Vista Inferior da Ponte Nova Concluída e Ponte Existente em Reforma.**

### **Palavras-chave**

Ponte; Reforma; Reforço; Protensão Externa; Fibra de Carbono; Aparelho de Apoio.

## Introdução

O mal estado de conservação das OAEs, as novas cargas móveis com seus novos coeficientes de majoração (NBR 7188, 2013) e a duplicação de rodovias têm gerado uma demanda crescente de projetos de recuperação, reforço e modernização de pontes antigas.

Nas rodovias federais concedidas, os contratos já contêm cláusulas prevendo a atualização e modernização das respectivas estradas.

Nas rodovias sob administração do DNIT são mantidos contratos abrangentes com trabalho de inspeção e classificação que atingem mais de seis mil pontes e viadutos em todo o Brasil.

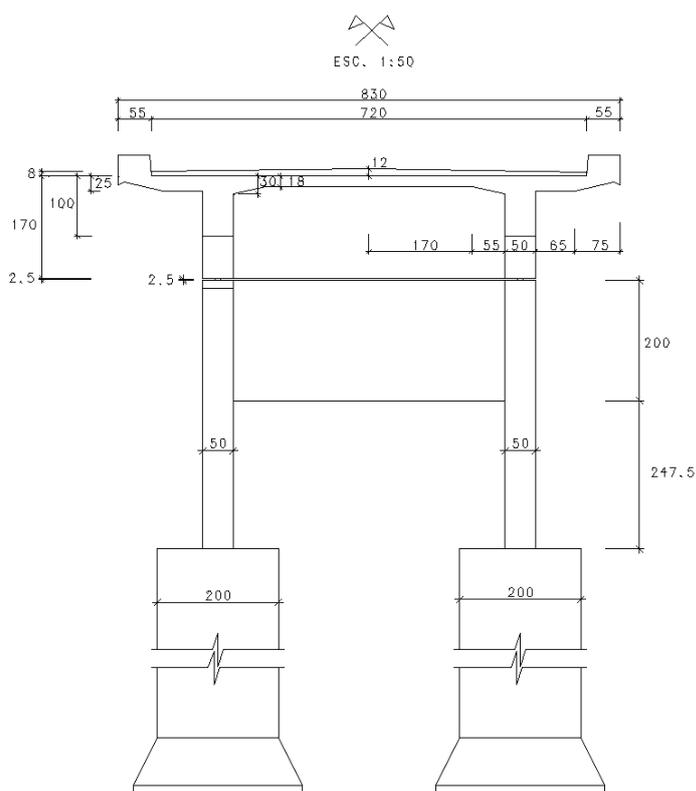
Da mesma forma, os órgãos rodoviários estaduais desenvolvem seus programas de inspeção, modernização e recuperação dessas estruturas.

Entre as rodovias concedidas está a BR 101 no Espírito Santo que está sendo duplicada em alguns trechos, incluindo o que se encontra a Ponte sobre o Rio Jucu, 30 km ao Sul de Vila Velha e Vitória.

## Ponte Existente

Essa ponte, em concreto armado, foi projetada pelo Engenheiro Lohengrin Vasconcelos Chaves, na década de 1950, aprovada pelo Conselho Rodoviário Nacional em 1957, quando a estrada tinha a designação de BR 5. Na época, vigiam as Normas NB-1 e NB-2, para Concreto Armado e Cargas nas Pontes, respectivamente.

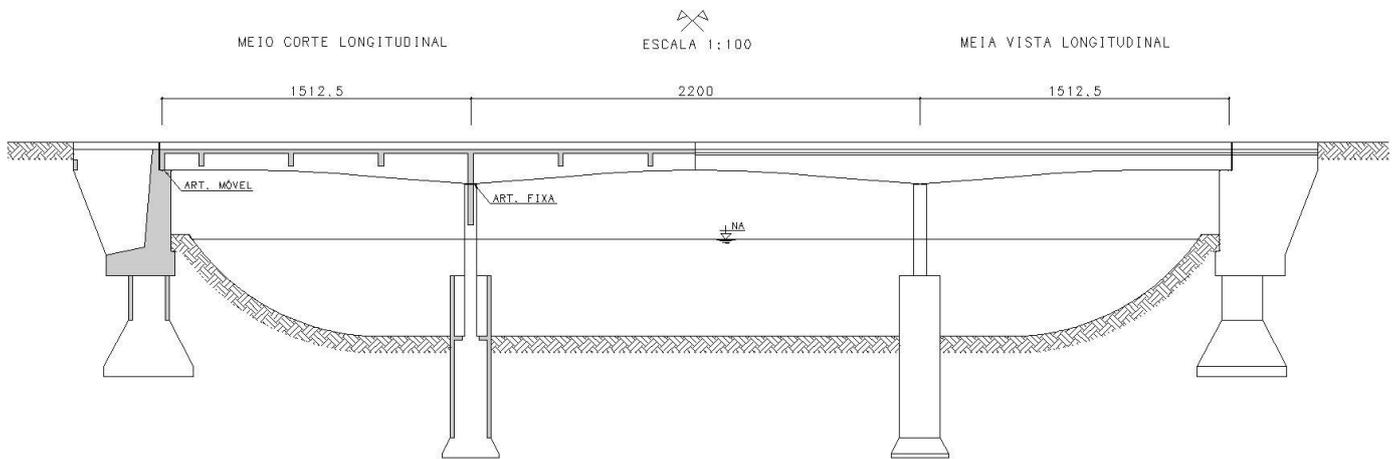
O projeto completo e a primorosa memória de cálculo foram recuperados junto à concessionária da rodovia, repassados anteriormente pelo DNIT. Estavam reproduzidos em cópias heliográficas que permitiram uma clara leitura de todo o material, embora dificultasse uma nova reprodução com qualidade. Dessa forma, os desenhos reproduzidos neste artigo são reconstituições fiéis do original. As Figuras 2, 3 e 4 ilustram a morfologia geral do projeto original.



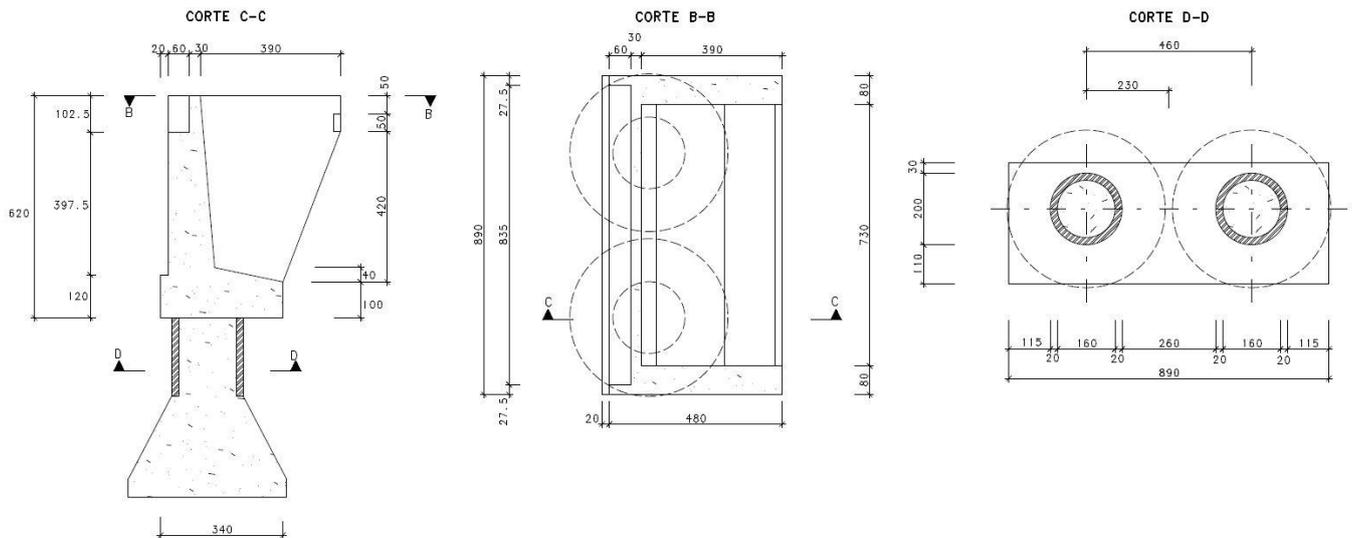
**Figura 2 – Corte Transversal.**



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



**Figura 3 – 1/2 Vista e 1/2 Corte Longitudinal.**



**Figura 4 – Detalhe dos Encontros.**

Como se verá adiante, foi importante essa recuperação do projeto, pois, por mais investigação que se fizesse, muitos detalhes considerados no projeto de modernização não poderiam ser identificados sem o acesso ao projeto original.

Em abril de 2015 foi feita a inspeção que orientou o projeto de modernização. Na ocasião foi utilizado um drone adaptado para fotografar de baixo para cima com técnica especial que permitia a leitura de abertura de fissuras. Essa técnica inédita foi apresentada por nós no IX CBPE, no Rio de Janeiro (SARKIS, J. M., 2016). A inspeção não identificou nenhuma patologia de vulto. Foram constatados alguns pontos de oxidação leve, lixiviação e falhas de concretagem. A Figura 5 apresenta uma foto lateral da ponte tirada na inspeção de 2015.



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



**Figura 5 – Vista Lateral da Ponte Existente.**

### **Alargamento da Ponte**

Para atender às necessidades de tráfego da rodovia duplicada a ponte necessitou ser alargada de 8,30 m para 11,40 m, incluindo a largura de duas barreiras New Jersey nas bordas do tabuleiro.

A infraestrutura para o alargamento e para o reforço das fundações existentes foi concebida com estacas pré-moldadas de concreto, blocos e vigas de fundação ligadas e reforçando as fundações originais, que eram em tubulão a ar comprimido.

Na mesoestrutura foram projetados dois pilares, um ao lado de cada pórtico existente e ligado a ele por uma travessa.

Poucas soluções podem ser cogitadas, tanto em termos de materiais como em termos de tipo estrutural para a superestrutura do alargamento.

O ideal, do ponto de vista de funcionamento da estrutura, seria repetir uma ou duas longarinas em concreto armado, vigas contínuas de altura variável. Esta solução, entretanto, seria antieconômica pelo uso do concreto armado em vãos superiores a 20 metros e inconcebível em termos de tecnologia atual, pois sua construção exigiria escoramento direto de toda a obra.

A solução em vigas pré-moldadas de concreto protendido teria o grave inconveniente da incompatibilidade de deformação localizada no apoio central onde a viga nova, simplesmente apoiada, teria liberdade de giro e a viga existente, que é contínua teria o giro limitado ou impedido.

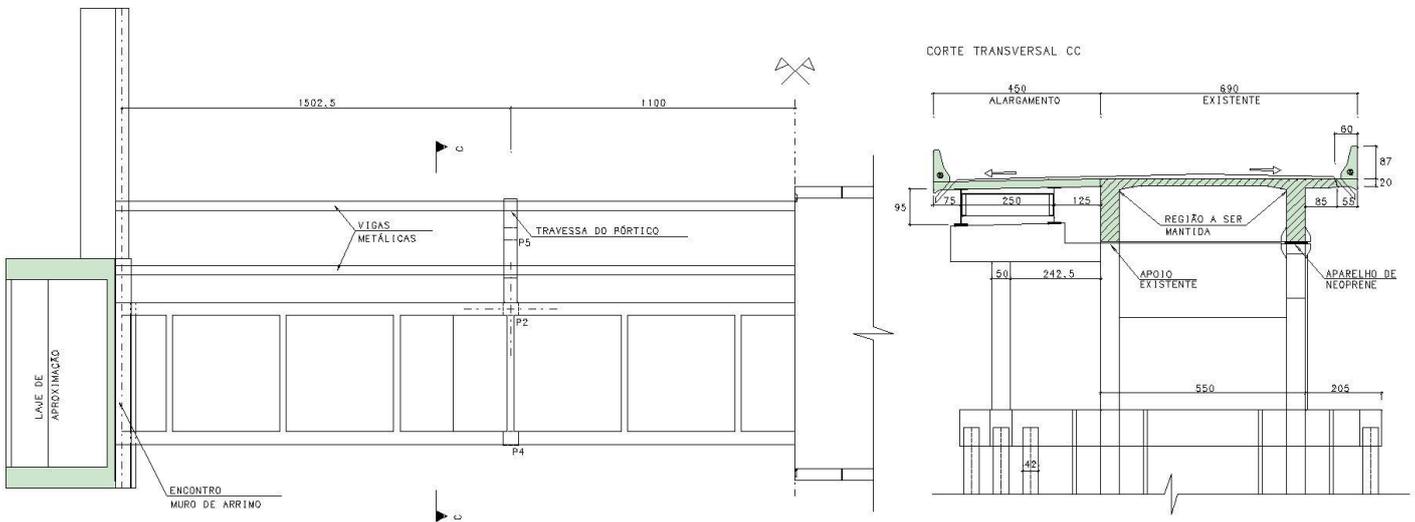
A solução foi o uso de viga contínua mista aço/concreto. O baixo peso da estrutura de aço permite o lançamento da viga completa por empurramento a partir de uma das margens ou, como foi usado, com guindastes. A diferença de comportamento da estrutura original em concreto armado e da estrutura com viga mista pode ser facilmente considerada nos modelos estruturais (MIX, 2011). Para se obter uma análise mais próxima ao comportamento da estrutura final, é necessário considerar que nas regiões de momentos negativos o concreto da estrutura mista não colabora. Nessas regiões foram feitos reforços das mesas da viga de aço e das armaduras longitudinais da laje. No modelo estrutural foi considerada a inércia apenas das vigas de aço na região de momentos negativos.

A disposição das vigas novas foi estudada de modo a que as novas cargas fossem suportadas pelo conjunto da nova superestrutura sem necessidade de reforço da longarina de concreto armado adjacente ao lado que está recebendo o alargamento. As vigas mistas foram aproximadas da estrutura, funcionando como reforço daquela viga.

As Figuras 6 e 7 ilustram as soluções adotadas.



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



**Figura 6 – Cortes Horizontal e Transversal do Alargamento.**



**Figura 7 – Lançamento da Estrutura de Aço com Guindastes.**

Na longarina do lado oposto, o acréscimo de solicitação será equilibrado pelo uso de protensão externa, sendo inviável o uso de reforço com barras de aço ou com fibra de carbono devido aos valores elevados dos acréscimos das solicitações.

## Protensão Externa

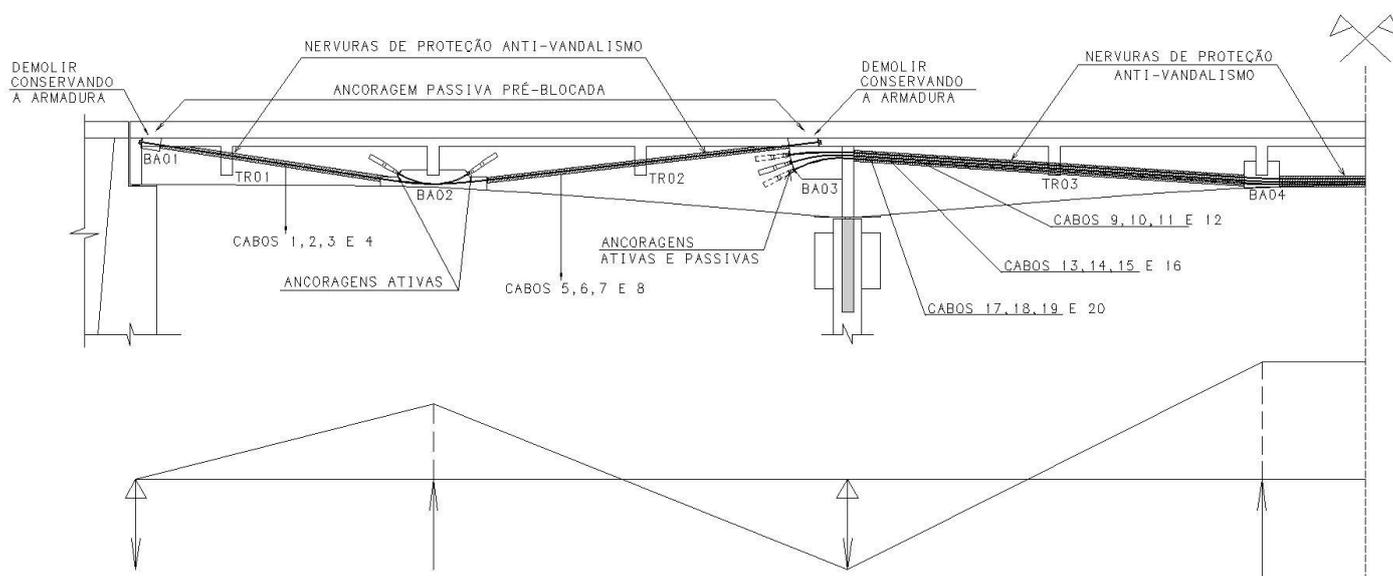
Na face oposta ao alargamento foi usada protensão externa levando em conta o conhecimento da resistência da viga existente.

No modelo estrutural da ponte completa, foram determinadas as solicitações nas longarinas existentes, especialmente os momentos fletores máximos e mínimos. A protensão externa foi concebida para aplicar forças na longarina dirigidas de baixo para cima na posição de uma transversina dos vãos extremos e em duas transversinas do vão central.

Essas forças foram reguladas para que os momentos produzidos em todas as seções sejam superiores à diferença entre a resistência original (NBR 6118, 2014) e valor máximo da solicitação em cada seção. Essa verificação deve ser feita com os valores finais da protensão, isto é, depois das perdas instantâneas e diferidas. Lembrando que as perdas diferidas podem ser limitadas às perdas por relaxação do aço (SARKIS, P. J., 2021).

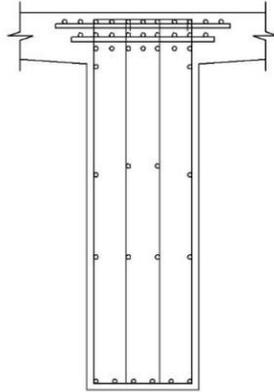
Por outro lado, deve ser evitado excesso de protensão que possa provocar a ruína da peça. Isso foi obtido regulando a força de protensão para que a solicitação produzida, na ocasião da aplicação da protensão, não seja superior a um certo percentual da solicitação mínima (em geral aquela causada pelo peso próprio). Quando o funcionamento da estrutura é bem definido esse percentual pode ser de até 90% (da solicitação mínima). No caso presente optou-se por limitar a 80%.

A Figura 8 ilustra o processo e a cablagem utilizada.



**Figura 8 – Esquema de Protensão Externa da Ponte Existente.**

Para dispor a cablagem foi importante ter o conhecimento dos detalhes das armaduras. Ao natural os cabos seriam protendidos pela face superior das vigas, entretanto, o detalhe de distribuição das armaduras negativas da viga original, reproduzido na Figura 9, mostra que haveria dificuldade para se obter o espaço necessário para protensão ativa sem romper algumas dessas armaduras principais.



**Figura 9 – Reconstituição da Distribuição das Armaduras da Viga Original.**

### **Aparelhos de Apoio**

O tratamento dos aparelhos de apoio foi um grande desafio para esse projeto. Na longarina que tem alívio nas solicitações pela proximidade das vigas de aço utilizadas no alargamento, optou-se por manter os aparelhos existentes uma vez que o funcionamento destes se mostrou adequado. Não havia sintoma de patologia relacionada com eles. Entretanto, na outra longarina que teve sua capacidade aumentada foi necessário projetar aparelhos de Neoprene, principalmente devido ao aumento das reações.

Foi importante a recuperação dos dados do projeto original e principalmente da memória de cálculo. Na leitura do projeto as armaduras passantes das rótulas de concreto não estavam legíveis devido à qualidade das cópias recuperadas. No entanto, na memória de cálculo estava bem claro que esse sistema, muito comum na época, tinha sido utilizado. Estava especificado o uso de seis barras 3/8” como armaduras passantes na rótula Freyssinet.

Para introduzir os novos aparelhos de apoio, de Neoprene fretado com 4 camadas de 8 mm, foram projetados dentes para apoio de macacos. Para a suspensão, na primeira etapa da execução, seria aplicada apenas a carga de peso próprio existente na rótula de concreto para os macacos. Após essa operação seria demolido o concreto da rótula, cortados os ferros passantes, elevada poucos centímetros a mais a viga e demolidas a cabeça do pilar e a face inferior da longarina permitindo a execução dos acabamentos necessários para receber os novos aparelhos de apoio.

As Figuras 10, 11, e 12 mostram as diversas fases da operação.



**Figura 10 – Suspensão da Longarina para Transferência de Cargas.**



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



**Figura 11 – Corte da Armadura Passante com Arco Elétrico.**



**Figura 12 – Aparelho de Neoprene Posicionado.**

### **Reforço das Lajes**

Para completar a resistência das lajes foram projetados dois tipos de reforço com fibra de carbono. Na face inferior, para momentos positivos, foi especificada a malha de fibra de carbono isotrópica. Na face superior, para momentos negativos, foi projetado o reforço com lâminas de fibra de carbono inseridas em sulcos de 2 cm de profundidade, abertos com disco, cuja eficiência é superior a lâmina colada (S.P. Clever Brasil, 2016).

As Figuras 13, 14 e 15 mostram as diversas fases da operação.



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



**Figura 13 – Aplicação do Reforço da Face Inferior da Laje com Malha de Fibra de Carbono.**



**Figura 14 – Aplicação das Lâminas de Fibra de Carbono Inserida.**



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



**Figura 15 – Face Superior da Laje Reforçada com Lâminas de Fibra de Carbono Inserida.**

## **Conclusão**

Como se mostrou ao longo do trabalho é muito importante se obter, através de documentação ou da anamnese, uma boa informação sobre a estrutura que vai ser objeto da reforma.

Neste exemplo, o traçado dos cabos de protensão externa e o procedimento para substituição da rótula de concreto por aparelho de Neoprene, provavelmente seriam objetos de retrabalho se não tivessem sido encontrados o projeto e a memória de cálculo original.

Para o alargamento da ponte é necessário compatibilizar o máximo possível o funcionamento de uma estrutura nova com a antiga considerando as evoluções ocorridas tanto no uso de materiais como nos métodos construtivos.

Quanto ao reforço das lajes, deve-se ressaltar que a fibra de carbono ainda é pouco utilizada em pontes, especialmente na forma de lâminas inseridas.

No momento em que esse artigo foi elaborado a obra estava em plena execução. Havendo recentemente sido lançada a estrutura metálica para o alargamento, faltando, ainda, a execução da protensão externa.

## **Referências**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013.

MIX, Sistema de Análise Estrutural – Manual de uso. São Paulo, 2011.

SARKIS, J. M.; SARKIS, P. J. - Uso de Drones em inspeção Definição de Recuperação em OAEs – IX Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro, 2016.

SARKIS, P. J. – “Recuperação e Reforço de Pontes com Protensão Externa”. Acessado em 19 de março de 2021. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=dF1vhR7Hxbo&list=PLMAtwHzjmHOC\\_AsAIYJ3CDsnZoWkXKwDh](https://www.youtube.com/watch?v=dF1vhR7Hxbo&list=PLMAtwHzjmHOC_AsAIYJ3CDsnZoWkXKwDh)>

S.P. Clever Brasil Ltda – “Reinforcement ARMO Flexion EC Fr Manuel d'Utilisation”. São Paulo, 2016.