

## Alteamento e Readequação de 5 Viadutos Rodoviários Sobre a BR-290/RS

Marcelo Melo<sup>1</sup>, Leonardo Patrício Chaves<sup>2</sup>, João Luís Casagrande<sup>3</sup>,  
Caio Nogaroli Boecker<sup>4</sup>, Gabriel Monteiro<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Casagrande Engenharia / mlfilho@cagen.com.br

<sup>2</sup>Casagrande Engenharia / lpchaves@cagen.com.br

<sup>3</sup>Casagrande Engenharia / jlcasagrande@cagen.com.br

<sup>4</sup>Casagrande Engenharia / cnboecker@cagen.com.br

<sup>5</sup>Casagrande Engenharia / gsmonteiro@cagen.com.br

### Resumo

Apresenta-se nesse artigo a solução estrutural e método construtivo utilizados para o alteamento e readequação de cinco viadutos sobre a Rodovia Federal BR-290, localizada no Estado do Rio Grande do Sul. Todas as estruturas foram construídas na década de 1960, período no qual a prática de projeto recomendava altura mínima de 5,0 metros como gabarito rodoviário para passagem de veículos sob novos viadutos. Devido a um incremento no tráfego da região e utilização de veículos cada vez maiores, em especial caminhões de grande porte, a concessionária que administra o trecho financiou tanto o projeto quanto as obras de alteamento e reforço das OAEs. O objetivo era adequar o gabarito rodoviário para uma nova altura de 5,5 metros, atualmente exigida pela Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT), para novas obras. A principal exigência do cliente foi o desenvolvimento de uma metodologia executiva que garantisse a construção sem causar qualquer interdição no trânsito da rodovia federal. Isso se provou ser um grande desafio, pois a estrutura dos viadutos não foi originalmente projetada prevendo futuros alteamentos. A solução final empregada incluiu diferentes etapas, tais como avaliação da capacidade estrutural dos viadutos para o trem-tipo vigente (TB-450), por meio de provas de carga estáticas; construção de consolos protendidos para suportar macacos hidráulicos; reforço localizado de alguns componentes estruturais; substituição dos aparelhos de apoio fixos por aparelhos elastoméricos; além do complemento de altura dos pilares utilizando de chapas de aço como elementos de reforço. Todas as construções foram finalizadas no cronograma previsto e sem causar nenhum dia de interrupção do tráfego na BR-290/RS. Todos os viadutos estão atualmente em uso, demonstrando a viabilidade em prolongar a vida útil das obras existentes no país, a partir de uma abordagem simples, mais sustentável e com custos reduzidos.

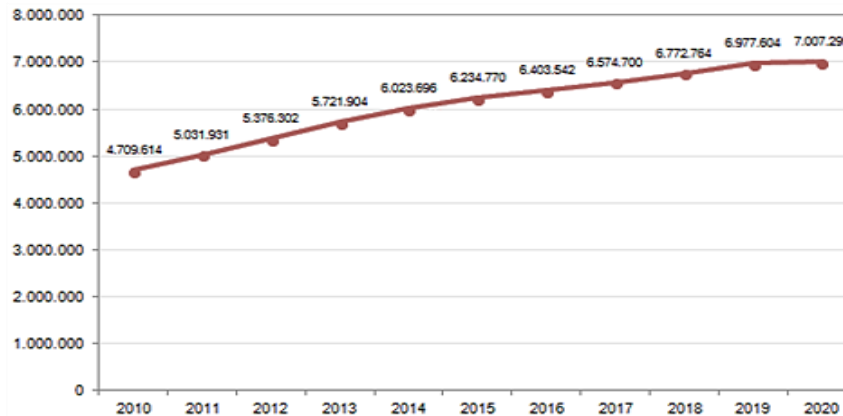
### Palavras-chave

Viadutos; Alteamento; Readequação; Reforço Estrutural; Prova de carga estática

### 1. Introdução

A rodovia federal BR-290, onde estão localizados os cinco viadutos, conecta importantes estados do sul do Brasil, além de outros países da América do Sul, aos portos de Rio Grande e Porto Alegre. Nos últimos anos, a rodovia vem sofrendo um acréscimo em seu volume de tráfego, conjuntamente com um incremento no número de veículos maiores e mais altos (ver Figura 1), responsáveis principalmente pelo transporte de produtos primários para exportação. De 2020 a 2021, os volumes de exportação na região ultrapassaram 47 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 19,37% em apenas um ano. O mercado chinês sozinho foi responsável pelo consumo de 56,32% das mercadorias exportadas no mesmo período, de acordo com a Assessoria de Comunicação Regional.

Nesse contexto, a Casagrande Engenharia e Consultoria foi contratada pela atual concessionária da rodovia para desenvolver o projeto estrutural para alteamento de cinco viadutos rodoviários, que funcionam como passagens superiores sobre a BR-290/RS, atendendo com isso ao requisito de segurança de altura mínima de 5,50 m estabelecido pelas regulamentações federais. Devido à importância econômica da rodovia, todo o processo de construção foi idealizado para que ocorresse sem interrupção do tráfego sob os viadutos.



**Figura 1. Evolução da Frota de Veículos Motorizados no Rio Grande do Sul de 2010 a 2020**  
(Fonte: DETRAN-RS)

Além disso, para aproveitar a mobilização das equipes de construção, o contrato exigiu também outras intervenções estruturais, valendo-se da intervenção para atender também a outros requisitos de segurança e funcionalidade exigidos pelas normativas vigentes, como a implementação de barreiras rígidas nos tabuleiros e a construção de lajes de transição nos encontros.

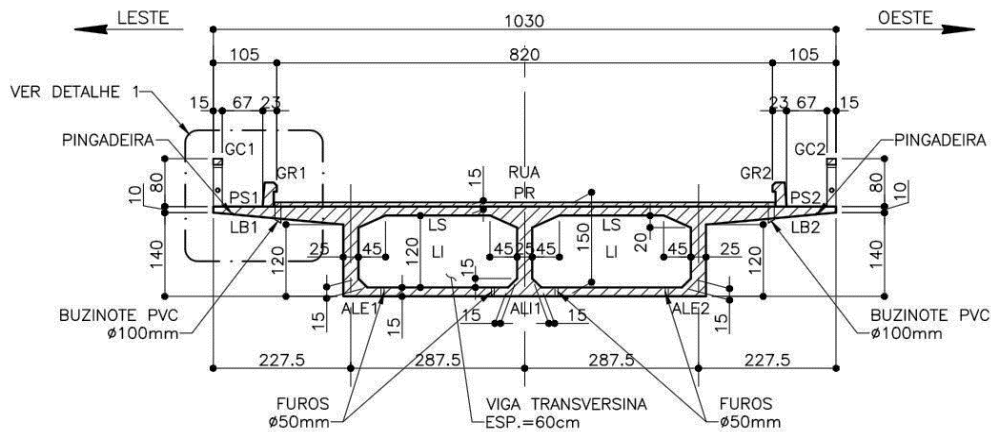
## 2. Descrição Estrutural dos Viadutos

Os viadutos foram originalmente construídos na década de 1960, portanto, sua tipologia, principalmente no que diz respeito aos materiais, sistema estrutural e seções transversais, é condizente com as práticas de projeto daquela época. Todas as estruturas foram construídas em concreto armado moldado no local e consistem em seções tipo caixão duplo, com duas células internas, com vigas contínuas e altura variável. A largura das obras é constante com 10,30 m e seu comprimento total é de aproximadamente 60,0 m, dividido em dois vãos principais de 23,0 m e dois balanços longitudinais de 7,0 m. A diferença entre os viadutos reside na geometria de seu tabuleiro, sendo retilínea a obra localizada no km 80,0 (Gravataí) e esconsas as obras localizadas nos km 4,9 (Osório); km 32,1 (Santo Antônio da Patrulha); km 62,6 (Gravataí) e km 83,6 (Cachoeirinha).

Uma vez que os desenhos e cálculos originais não foram encontrados, foram implementados minuciosos trabalhos de diagnóstico e inspeção para identificar possíveis danos/patologias e para obtenção das medidas *as-built* de todos os elementos. Além disso, amostras foram extraídas de diferentes partes das estruturas com o objetivo de conhecer a resistência atual do concreto. Essas investigações subsidiaram a elaboração de um modelo computacional de análise estrutural mais preciso e realista.

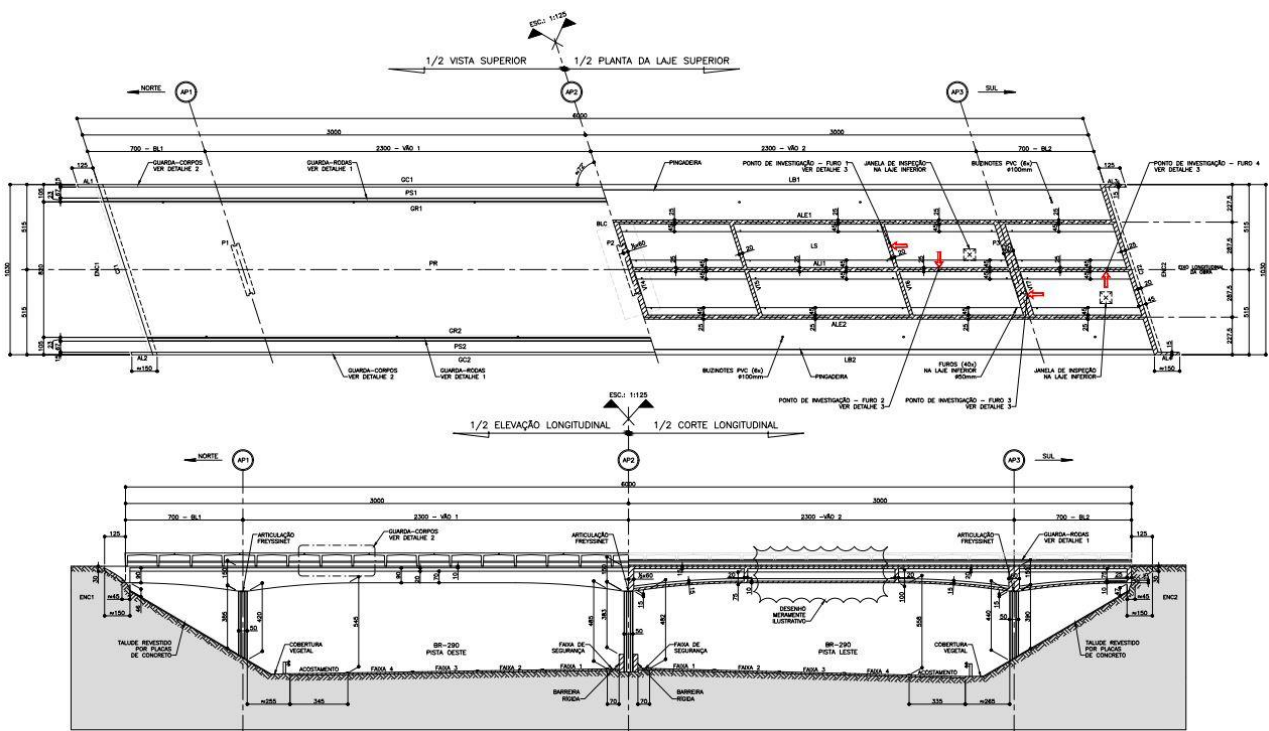
A seção caixão é composta por lajes internas superiores de 20 cm de espessura no meio do vão e 40 cm de espessura nas almas, laje inferior de 15 cm de espessura e lajes em balanço com espessura variável de 30 a 10 cm nas extremidades. As almas internas e externas têm uma largura constante de 25 cm. A altura da seção varia de 1,00 m no meio dos vãos principais e nos encontros a 1,50 m sobre os pilares. Duas transversinas de 20 cm de espessura estão localizadas nos terços de cada vão principal e uma transversina de 60 cm está localizada acima de cada linha de apoio.

Em ambas as extremidades, solidarizadas ao tabuleiro, estão localizadas cortinas e alas laterais projetadas para suportar o empuxo de solo e evitar a erosão dos aterros de aproximação.



**Figura 2. Seção Transversal Típica dos Viadutos**

A mesoestrutura existente dos viadutos consiste em pilares-parede com espessura constante de 0,50 m e largura variável ao longo de sua altura. A ligação da superestrutura com os pilares era feita por meio de aparelhos de apoio fixos do tipo *Freyssinet*, que permitem rotações relativas entre a seção caixão e os pilares, mas restringe os movimentos relativos de translação. A Figura 2 mostra uma seção transversal típica dos viadutos enquanto a Figura 3 apresenta vistas em planta e elevação.



**Figura 3. Vista Típica em Planta (Acima) e em Elevação (Abaixo) dos Viadutos**

### 3. Análise Estrutural e Testes de Carga Estática

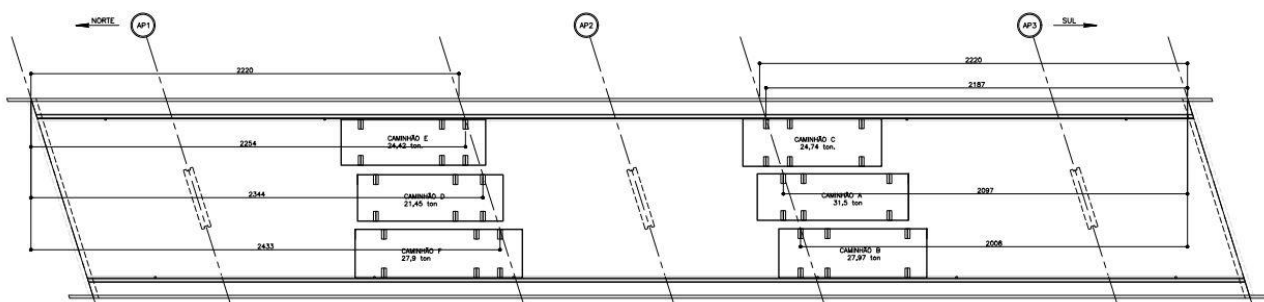
Seguindo as prescrições normativas da década de 1960, as cinco estruturas foram originalmente projetadas para suportar um veículo padronizado com 360 kN (TB-36), além de cargas uniformemente distribuídas de 5 kN/m<sup>2</sup> na faixa de tráfego desse veículo e 3 kN/m<sup>2</sup> nos demais pontos do tabuleiro. As diretrizes atuais exigem que pontes e viadutos no Brasil resistam a cargas mais

pesadas, correspondentes a um veículo padronizado de carga móvel com 450 kN (TB-45) mais uma carga distribuída de 5 kN/m<sup>2</sup> tanto dentro quanto fora da faixa de tráfego desse veículo.

Utilizando medidas levantadas *in situ* e simulando os modelos de cargas móveis antigos e atuais, modelos computacionais de elementos finitos foram criados para avaliar e comparar a distribuição de esforços internos nos elementos da superestrutura, meso e infraestruturas.

Os cálculos preliminares indicaram que a comparação dos esforços internos no tabuleiro devido apenas às cargas móveis resultava em diferenças significativas. Em média, os valores obtidos com o TB-45 foram aproximadamente 36% maiores do que aqueles obtidos com o TB-36. No entanto, quando a mesma comparação era feita considerando uma combinação das cargas permanentes com as cargas móveis, a diferença na magnitude dos esforços reduzia-se para 12% para forças cortantes e momentos negativos de flexão, e para 19% para momentos positivos de flexão. Conclusões semelhantes foram encontradas para as lajes e pilares, o que indicou não ser necessário reforçar os viadutos para atendimento ao trem-tipo vigente. Os acréscimos de solicitações estavam, em quase a totalidade dos casos, cobertos pelas margens de segurança adotadas na prática do projeto estrutural.

A fim de validar os resultados obtidos anteriormente, foi proposto para a concessionária a realização de provas de carga estática nos viadutos. O objetivo era avaliar se os deslocamentos e eventuais aberturas de fissuras medidos no local corresponderiam aos resultados preliminares obtidos a partir dos modelos analíticos. A Figura 4 ilustra uma das posições idealizadas para as provas de carga estáticas enquanto a Figura 5 mostra o ensaio sendo realizado em um dos viadutos.



**Figura 4. Posicionamento dos Veículos para Avaliação do Momento Negativo Máximo sobre o Apoio Central**



**Figura 5. Teste de Carga Estático sendo realizado sobre o Viaduto**

Um total de 12 deflectômetros (ver Figura 6) foram posicionados sob cada tabuleiro, alinhados com as almas da viga caixão, para medir os deslocamentos verticais. Três deles foram fixados na extremidade de cada balanço longitudinal e três fixados no ponto médio de cada vão principal. Além disso, selos de gesso foram também instalados ao longo do tabuleiro para monitorar o comportamento das fissuras.

Seis caminhões cheios de areia, previamente pesados, foram alugados para os testes de carga. Depois de estudar cuidadosamente as linhas de influência da superestrutura, diferentes configurações carga/posicionamento dos caminhões foram criados para obtenção dos maiores esforços internos no tabuleiro. O principal objetivo era aproximar as forças induzidas pelos testes com aquelas calculadas usando os carregamentos normativos.

De acordo com a norma da ABNT para testes de carga estática NBR 9067:2019, para avaliar o estado limite último em pontes e viadutos existentes, o teste deve atingir a força indicada na equação (1):

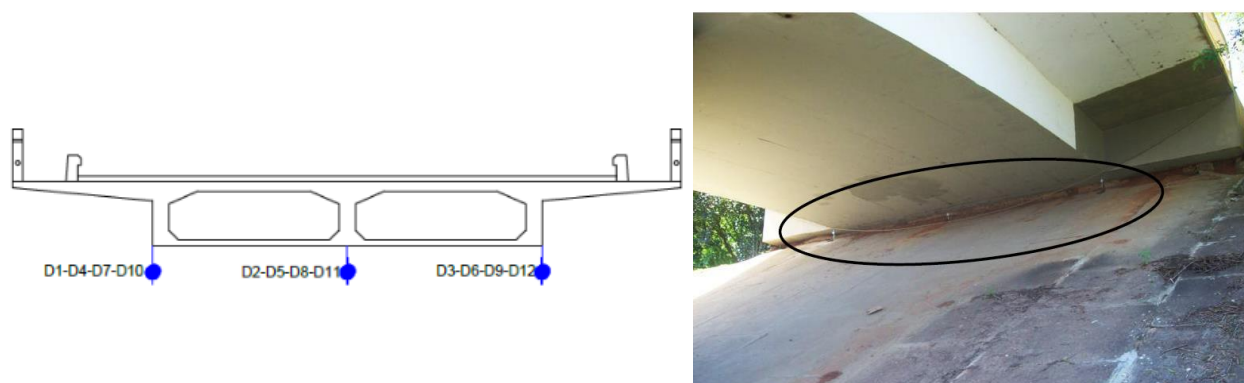
$$P_{\text{test}} = 0,78 \times (1,35 \times G_2 + 1,50 \times Q) \quad (1)$$

Onde:

G<sub>2</sub> - Cargas permanentes adicionais, previstas ao longo da vida útil do projeto da estrutura (neste caso, G<sub>2</sub> = 0);

Q - Cargas variáveis, previstas ao longo da vida útil do projeto da estrutura.

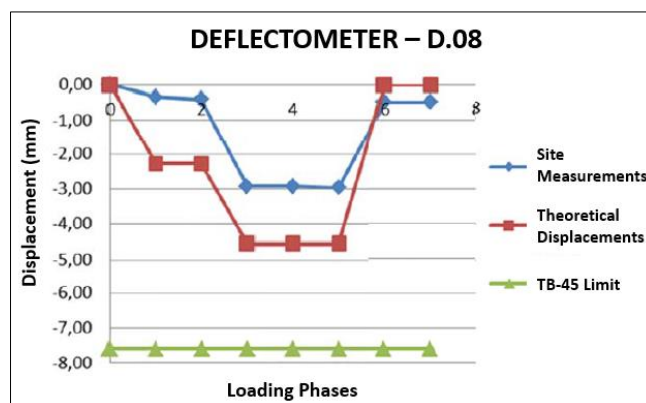
A mesma norma afirma também que as cargas devem ser introduzidas progressivamente, com cada acréscimo de carga representando até 25% da força induzida máxima. Portanto, os caminhões foram introduzidos sequencialmente.



**Figura 6. Localização dos Deflectômetros instalados em Projeto (Esquerda) e na Obra (Direita)**

Os resultados de cada defletoômetro foram plotados e comparados com os valores esperados. Na maioria dos defletoômetros, os deslocamentos teóricos estavam compatíveis com as medições do local, porém sempre maiores (ver Figura 7), não tendo sido observado nenhum deslocamento residual. Além da avaliação dos deslocamentos, foi possível observar que não houve ocorrência visível de novas fissuras ou ruptura dos selos de gesso instalados. Isso levou à conclusão de que a armadura de aço não atingiu seu patamar de escoamento, mantendo a estrutura um comportamento elástico. Em outras palavras, os esforços na armadura de aço e no concreto ficaram abaixo dos valores admissíveis durante todo o teste.

Após a análise de todos os dados, concluiu-se que todas as estruturas poderiam operar de acordo com os padrões de carga atuais, sem a necessidade de reforço para adequação do trem-tipo normativo.

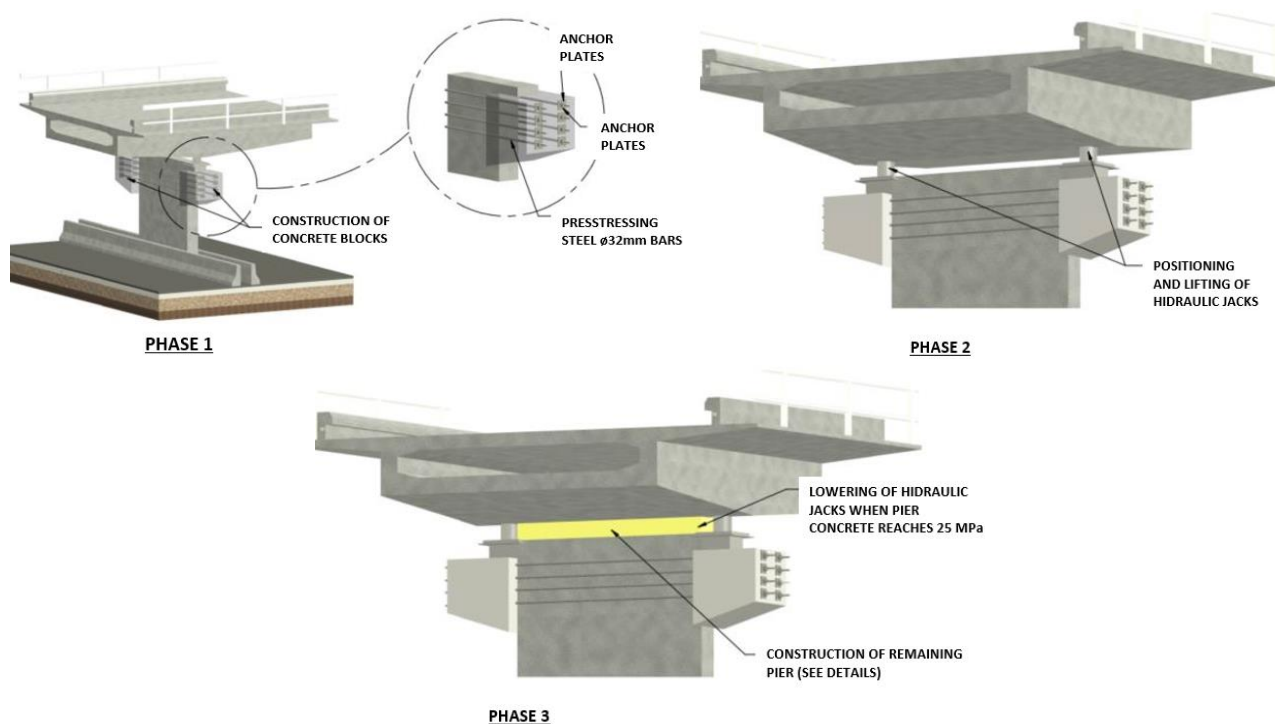


**Figura 7. Deslocamentos Teóricos e Medidos durante o Teste de Carga no Ponto Médio do Vão Principal**

#### 4. Solução de Alçamento dos Viadutos

Conforme mencionado anteriormente, a solução de alçamento proposta para as OAEs foi projetada para evitar a interrupção de tráfego na rodovia BR-290/RS. A metodologia proposta consistiu em 3 etapas principais (ver Figura 8), resumidas nesta seção e descritas com mais detalhes posteriormente.

Na primeira etapa, os consolos de concreto, projetados para os macacos hidráulicos, foram construídos em ambos os lados dos pilares existentes. Para criar um mecanismo ativo de transferência de carga, 8 barras de aço de protensão foram posicionadas no interior do novo concreto e pós-tensionadas. Posteriormente, os aparelhos de apoio fixos do tipo *Freyssinet* foram cortadas e o solo de aterro atrás de ambos os encontros foi escavado.

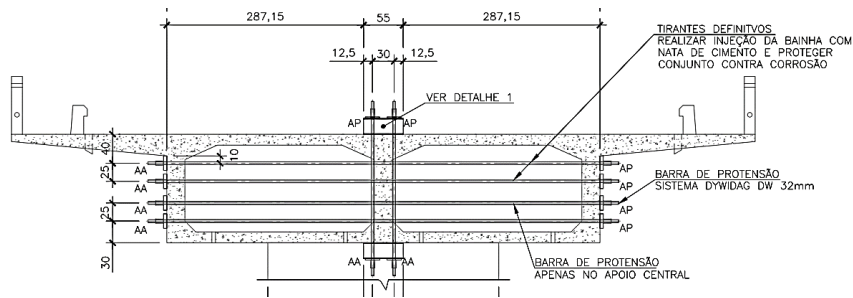


**Figura 8. Processo Executivo de Construção para a Elevação dos 5 Viadutos**

A segunda etapa se iniciou com a instalação dos macacos hidráulicos. Quando a resistência necessária para o concreto dos novos consolos foi atingida, o processo de alçamento controlado começou simultaneamente em todos os pilares, até que o tabuleiro atingisse a altura desejada. Com isso, iniciou-se a terceira etapa, com a construção complementar no topo dos pilares, instalação dos novos aparelhos de apoio elastoméricos e rebaixamento do tabuleiro para sua posição final.

- **Reforço Localizado das Transversinas**

Os macacos hidráulicos foram posicionados sob as transversinas existentes, elementos para os quais o projeto de armadura era desconhecido, em uma posição desalinhada das almas externas da seção caixão. Isso provocaria uma mudança temporária do sistema estrutural dessas peças durante a operação de macaqueamento. Diante disso, um reforço localizado das transversinas foi proposto utilizando barras de protensão com posicionamento tanto horizontal como vertical. A Figura 9 ilustra o detalhe de projeto e uma imagem real da solução de reforço empregada.



**Figura 9. Reforço Localizado das Transversinas usando Barras de Protensão**

- **Mecanismo de Transferência de Carga**

Como concretos de idades distintas foram empregados, um contra o outro, a transferência de carga na interface dos novos consolos com os pilares antigos foi avaliada usando a formulação proposta pelo Código Modelo da FIB 2010, cuja expressão encontra-se resumida na equação (2).

$$\tau_u = \tau_a + \mu \cdot (\sigma_n + k_1 \cdot \rho \cdot f_y) + k_2 \cdot \rho \cdot \sqrt{f_y \cdot f_{cc}} \quad (2)$$

Onde:

$\tau_a$  – resistência ao cisalhamento devido à ligação adesiva/efeito de engrenamento;

$\mu$  – coeficiente de atrito;

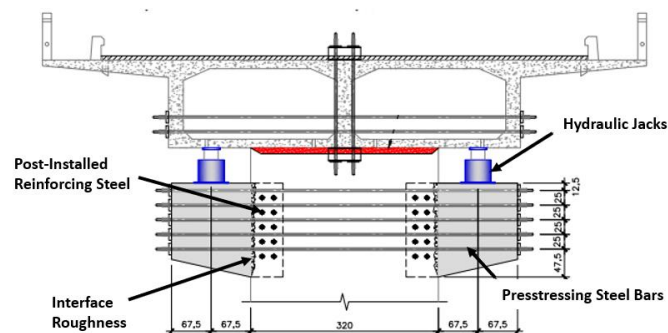
$k_1$  e  $k_2$  – fatores de interação;

$\sigma_n$  – menor tensão compressiva resultante de uma força normal atuando na interface;

$\rho$  – taxa de armadura passiva cruzando a interface;

$f_y$  – tensão de escoamento do aço da armadura passiva;

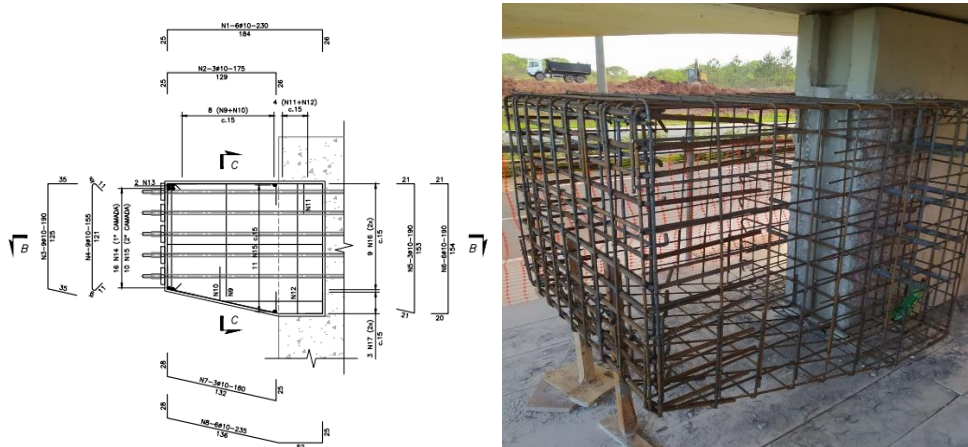
$f_{cc}$  – resistência à compressão do cilindro do concreto sob tensão uniaxial.



**Figura 10. Esquema para o Mecanismo de Transferência de Carga**

As parcelas da expressão anterior consideradas como contribuindo para a transferência de forças na interface, resultaram de uma rugosidade obtida por escarificação e criada intencionalmente na superfície dos pilares existentes para fornecer intertravamento mecânico entre os agregados; força de compressão externa agindo perpendicular à interface e decorrente de 8 barras de aço pós-tensionadas;

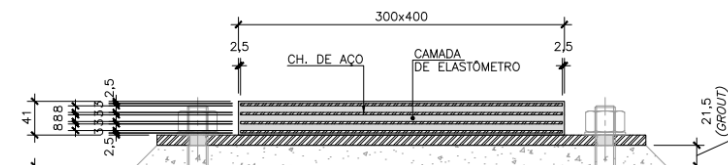
forças de fixação decorrentes da armadura passiva pós-instalada; e efeito de pino da armadura passiva que atravessa a interface.



**Figura 11. Detalhamento da Armadura Passiva dos Consolos de Concreto (Esquerda) e Construção do Consolo (Direita)**

- **Substituição dos Aparelhos de Apoio**

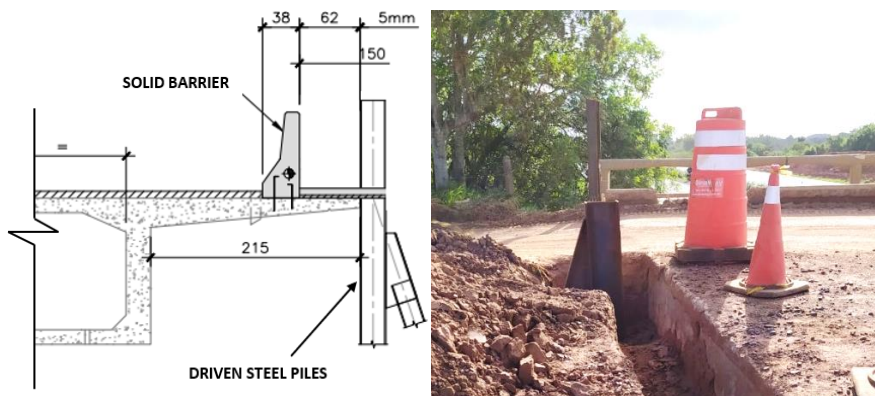
Como os aparelhos de apoio fixos tiveram que ser cuidadosamente demolidos para permitir a operação de levantamento dos viadutos, a solução de construção mais lógica foi substituí-los por três aparelhos de apoio elastoméricos fretados por linha de pilares, projetados de modo a permitir movimentos rotacionais similares aos anteriores. que as antigas dobradiças de concreto. A Figura 13 ilustra um dos novos elementos adotados.



**Figura 12. Detalhamento dos Novos Aparelhos de Apoio Elastoméricos**

- **Restrição Temporária dos Movimentos de Translação**

Restringir os movimentos de translação do tabuleiro durante o alteamento foi uma preocupação relacionada à segurança da operação. Mesmo com a interrupção do tráfego sobre os viadutos e com a escavação do solo nos encontros, permitir que o tabuleiro repousasse apenas sobre os macacos hidráulicos poderia levar a uma instabilidade lateral em relação às cargas horizontais, como o vento ou até mesmo uma colisão eventual de algum veículo trafegando na rodovia.



**Figura 13. Detalhamento e Execução das Estacas Metálicas para Restrição Horizontal dos Viadutos**

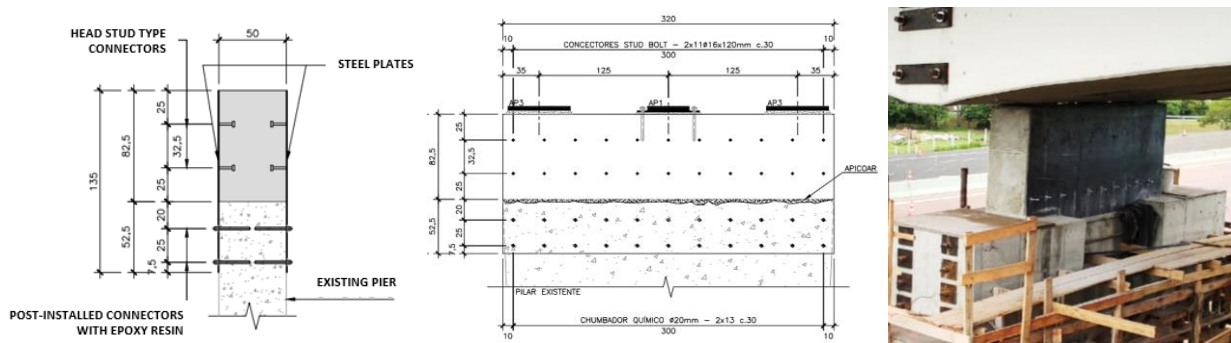


Dessa forma, para fornecer uma restrição lateral, tal qual mostrado na Figura 13, estacas de aço foram cravadas na vertical e inclinadas no terreno de fundação. Elas foram construídas em seis locais diferentes, em ambos os lados dos trechos em balanço e em ambas as extremidades do tabuleiro, criando um sistema de travamento mais confiável e estável. Algumas dessas estacas foram posteriormente incorporadas como elementos de fundação para as novas lajes de transição.

- **Construção Complementar no Topo dos Pilares**

Devido à dificuldade de execução do complemento de altura dos pilares utilizando vergalhões convencionais de aço, a solução encontrada foi utilizar chapas de aço fixadas por meio de conectores, no topo dos pilares. Essas chapas de aço funcionariam permanentemente como elementos reforço à tração, substituindo a necessidade de armadura, além de serem utilizadas como fôrmas durante a execução do novo concreto.

Conforme mostrado na Figura 14, as chapas de aço foram fixadas no concreto antigo por meio de conectores pós-instalados com resina epóxi, e para criar aderência entre o novo concreto e as chapas de aço, foram soldados conectores do tipo *stud-bolt* embutidos na massa de concreto. Após o endurecimento e regularização no topo dos pilares, os novos aparelhos de apoio elastoméricos puderam ser instalados.

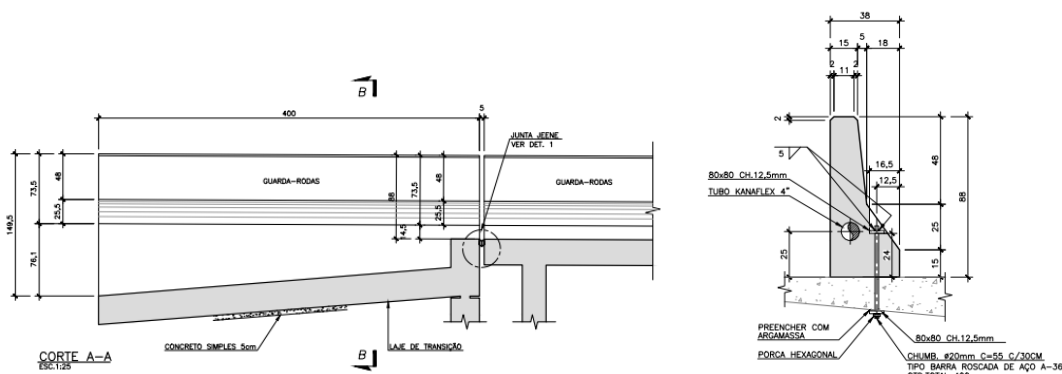


**Figura 14. Detalhamento e Execução do Complemento de Altura dos Pilares**

## 5. Intervenções Estruturais Adicionais

Como alguns elementos de segurança necessários aos viadutos rodoviários eram inexistentes ou obsoletos, a concessionária da rodovia exigiu intervenções estruturais adicionais a serem consideradas já na fase de projeto para atendimento aos padrões vigentes.

Barreiras rígidas do tipo *New Jersey* foram implementadas em ambos os lados da pista. Lajes de transição, que antes não existiam, foram construídas, independentes do tabuleiro, para reduzir os efeitos dos recalques diferenciais entre o solo e a superestrutura rígida. Por fim, foram construídas também juntas de dilatação para absorver os movimentos térmicos do tabuleiro.



**Figura 15. Detalhamento das Lajes de Transição e Barreiras Rígidas Adicionais nos Viadutos**

## 6. Conclusão

O projeto executivo foi concluído no final de 2020 e as obras iniciadas em meados de 2021. Com a metodologia de alteamento proposta, as equipes de construção levaram em média de 45 a 60 dias para conclusão dos trabalhos em cada OAE, sem causar um único dia de interrupção total do tráfego na rodovia federal BR-290/RS. A sequência de construção e o cronograma implementado demonstraram grande sucesso para a concessionária que administra a rodovia. Estudos de caso como esse, com o alteamento e reaproveitamento funcional de viadutos rodoviários, indicam a viabilidade de estender a operação e vida útil de diversas estruturas existentes na malha rodoviária brasileira, trazendo consigo uma abordagem mais sustentável e com custos reduzidos.



**Figura 16. Viaduto Localizado no km 32+100 (Santo Antônio da Patrulha) durante a Construção (Em Cima) e Após a Conclusão (Embaixo)**

## 7. Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9607: Prova de carga estática em estruturas de concreto – Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e protendido. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7188: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- [6] FÉDERATION INTERNATIONALE DU BÉTON, FIB Model Code 2010. Lausanne, Suíça, 2013.