



PROJETO, EXECUÇÃO E REABILITAÇÃO DE  
**OBRAS DE ARTE**  
**ESPECIAIS**

*Organizadores:*

*João da Costa Pantoja*

*Márcio Augusto Roma Buzar*

*Naiara Guimarães de Oliveira Porto*

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**

**Reitora:** Márcia Abrahão Moura  
**Vice-Reitor:** Henrique Huelva  
**Decana de Pesquisa e Inovação:** Maria Emília Machado Telles Walter  
**Decanato de Pós-graduação:** Lucio Remuzat Rennó Junior  
**Decana de Extensão:** Olgamir Amancia

**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO - FAU**

**Diretor da FAU:** Caio Frederico e Silva  
**Vice Diretoria da FAU:** Maria Cláudia Candeia de Souza  
**Coordenadora de Pós-Graduação:** Carolina Pescatori Cândido da Silva

**Coordenação de Produção Editorial,** Valmor Cerqueira Pazos  
**Preparação, Revisão e Diagramação:** Erika Stella da Silva Menezes  
Naiara Porto

**Conselho Editorial:** Abner Luis Calixter  
Humberto Salazar Amorim Varum  
Paulo de Souza Tavares Miranda  
Rodrigo Guimarães Martins

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Projeto, execução e reabilitação de obras de arte especiais [livro eletrônico] / organizadores João da Costa Pantoja, Marcio Augusto Roma Buzar, Naiara Guimarães de Oliveira Porto. -- Brasília, DF : LaSUS FAU : Editora Universidade de Brasília, 2024.  
PDF

Vários autores.  
Bibliografia.  
ISBN 978-65-84854-41-3

1. Artigos - Coletâneas 2. Engenharia civil  
3. Engenharia civil (Estruturas) 4. Patrimônio arquitetônico - Preservação I. Pantoja, João da Costa. II. Buzar, Marcio Augusto Roma. III. Porto, Naiara Guimarães de Oliveira.

24-219342

CDD-624

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Engenharia civil 624

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

1ª Edição

ORGANIZZADORE E



AUTORE

Daniel Nelson Maciel | Autor  
Eduardo Bicudo de Castro Azambuja | Autor  
Eduardo Valeriano Alves | Autor  
Fernanda Karen Melo da Costa | Autor  
Flávia Moll de Souza Judice | Autor  
Gláucyo Santos | Autor  
Iberê Pinheiro de Oliveira | Autor  
João da Costa Pantoja | Organizador e Autor  
Joel Araújo do Nascimento Neto | Autor  
José Neres da Silva Filho | Autor  
Karen Andreza Marcelino | Autor  
Luiz Carlos de Almeida | Autor  
Leandro Mouta Trautwein | Autor  
Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa | Autor  
Luís Henrique Bueno Pinehiro | Autor  
Márcio Augusto Roma Buzar | Organizador e Autor  
Marcos Henrique Ritter de Gregorio | Autor  
Mayra Soares Pereira Lima Perlingeiro | Autor  
Naiara Guimarães de Oliveira Porto | Organizador  
Olímpia Loures Vale Pujatti | Autor  
Patrícia Caroline Souza da Rocha Vieira | Autor  
Paulo Robert Santos Machado | Autor  
Ramon Saleno Yure Rubim Costa Silva | Autor  
Ricardo Valeriano Alves | Autor  
Rodrigo Barros | Autor



# SUMÁRIO

## EIXO 1 Degradação, preservação, estética p. 10

- 1 p. 11 Avaliação da curva de desempenho e degradação de obras de arte especiais: Caso da Ponte do Braghetto
- 2 p. 29 A Preservação do Patrimônio Industrial Moderno Vinculado às Pontes Metálicas
- 3 p. 52 Análise da relação entre estrutura e design de duas pontes de Robert Maillart utilizando o software ANSYS

## EIXO 2 Soluções e análises estruturais p. 75

- 4 p. 76 Solução de viga vagonada, comparada com o modelo de treliça plana, no uso de passarelas com grandes vãos
- 5 p. 89 Análise das distribuições de momentos fletores e reações de apoio devidos à carga móvel em tabuleiros de pontes esconsas
- 6 p. 112 Pontes retas alargadas em concreto armado: a influência da resistência do concreto na distribuição de momento fletor devido à carga móvel
- 7 p. 138 Avaliação das condições estruturais da Ponte Fazenda Modelo

## EIXO 3 Reforço em pontes p. 150

8 p. 151 Reforço de Pontes de Concreto Armado por Protensão Externa

9 p. 164 Aplicação de protensão no reforço da ponte metálica do Rio Pardo

10 p. 182 Restauro Estrutural e Reforço da Ponte do Desengano

## AUTORES Resumo p. 198

REFORÇO

EM

PONTES



EIXO 3

# 9

## Aplicação de protensão no reforço da ponte metálica do Rio Pardo

**ALVES, Ricardo Valeriano**

Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**PERLINGEIRO, Mayra Soares Pereira Lima**

Universidade Federal Fluminense.

**ALVES, Eduardo Valeriano**

Universidade Federal Fluminense.

**Resumo:** O significativo aumento das cargas rodoviárias tem gerado uma crescente demanda por reforço nas estruturas das pontes em geral. As conhecidas vantagens de aplicação da protensão em estruturas de concreto motivam a busca de soluções semelhantes aplicadas às estruturas metálicas. O uso da protensão externa permite o reforço sem a interrupção do tráfego nas pontes, com pequenas intervenções nos elementos estruturais. São apresentadas as soluções de recuperação e reforço estrutural, empregando-se protensão em mono-cordoalhas engraxadas, aplicadas ao caso prático de readequação com aumento da capacidade portante da ponte em treliça sobre o Rio Pardo, com 62,4m de extensão. Os fundamentos da análise estrutural dos efeitos da protensão no comportamento estrutural são apresentados.

**Palavras-chave:** Recuperação e reforço estrutural; Protensão externa; Treliças metálicas.

## 1. INTRODUÇÃO

No ano de 2008 os autores participaram do desenvolvimento de alternativa, proposta e aceita, para projeto de recuperação e reforço da Ponte sobre o Rio Pardo. A ponte localiza-se na Rodovia Vicinal SRV046 (km 9), trecho Santa Rosa de Viterbo – Cajuru, no Estado de São Paulo, conforme ilustrado na Figura 1. Observa-se na foto aérea da Figura 1, parte de vastas extensões de plantio de cana de açúcar, típicas da região que conta com as maiores refinarias de álcool do Brasil. Esta atividade agroindustrial foi o principal motivo do rápido crescimento do tráfego, não só em quantidade de veículos, mas, principalmente, em aumento significativo das cargas.

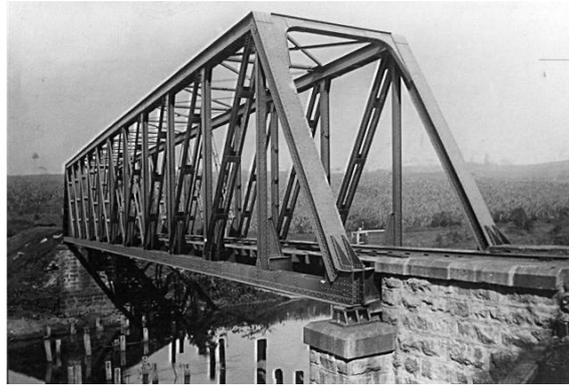
**FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO PONTE SOBRE O RIO PARDO**



**FONTE: AUTORES.**

A estrutura foi construída no início do Século XX, em 1912. Trata-se originariamente de ponte ferroviária, com superestrutura em aço, tipo ASTM-36, constituída por duas treliças com banzos paralelos de altura de 6,80m. A estrutura possui um vão de 62,4m de comprimento, subdivididos em 12 trechos de 5,20m cada – correspondentes à distância entre montantes. A largura da seção é de 4,52m entre eixos das treliças. A Figura 2 ilustra a ponte logo após sua inauguração. Pode-se observar a presença dos trilhos sobre dormentes de madeira.

**FIGURA 2:** PONTE AO TÉRMINO DA SUA CONSTRUÇÃO (FONTE: REVISTA STA ROSA DE VITERBO – 81 ANOS. TEXTO: “A ESTRADA DE FERRO, ANO 1991”, P. 11.)



FONTE: AUTORES.

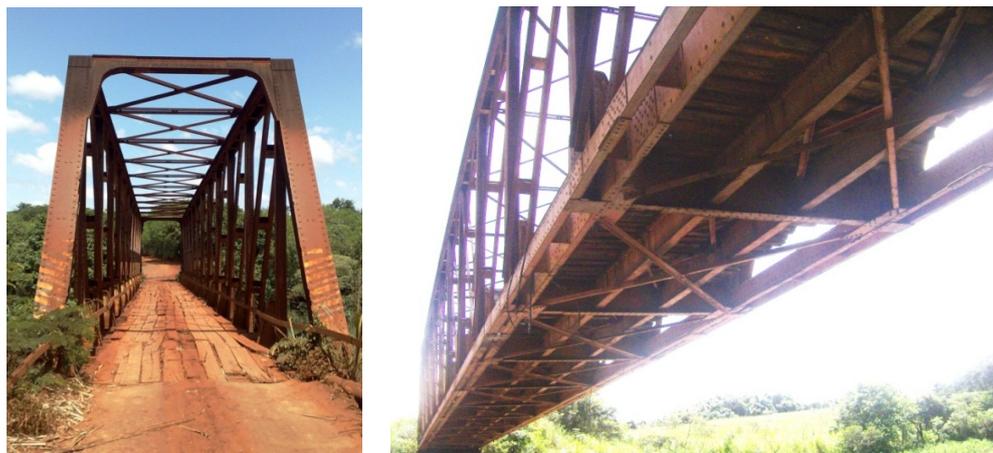
Na extremidade mostrada na foto anterior, pode-se ainda notar o apoio rotulado fixo. No outro extremo deu-se liberdade para os deslocamentos longitudinais por meio de aparelho de apoio com rolo metálico entre chapas grossas, conforme fotos mostradas na Figura 3.

**FIGURA 3.** APARELHO DE APOIO METÁLICO DESLIZANTE (ANTES E APÓS RECUPERAÇÃO)



FONTE: AUTORES.

O tráfego de trens foi interrompido em 1966. Com a remoção dos trilhos, a estrutura recebeu complementação do estrado em dormentes de madeira para receber tráfego rodoviário. A foto da Figura 4, tomada imediatamente antes de recente recuperação, ilustra o aspecto da ponte em uso rodoviário.

**FIGURA 4:** ESTADO DA PONTE ANTES DA RECUPERAÇÃO**FONTE:** AUTORES.

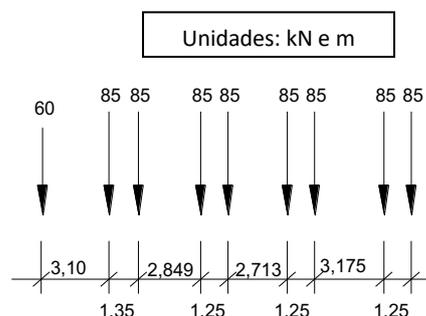
Por ocasião da melhoria da rodovia vicinal, sob responsabilidade do DER do Estado de São Paulo, observou-se que os perfis metálicos apresentavam corrosão generalizada, principalmente nos elementos imediatamente abaixo do estrado. Isto se deu em virtude da constante infiltração de agentes corrosivos da seiva da cana, constantemente deixada pela passagem da colheita. A insuficiente dimensão dos guarda corpos metálicos (em não conformidade com a norma vigente) resultava em diversos perfis danificados por impacto de veículos. Um montante apresentava expressiva deformação devido a estes impactos, conforme ilustrado na Figura 5.

**FIGURA 5:** ELEMENTOS DANIFICADOS POR IMPACTO (ANTES E APÓS RECUPERAÇÃO)**FONTE:** AUTORES.

Em virtude da extensiva exploração da cana de açúcar, a região já contava com o tráfego constante de rodotrens, como ilustrado na Figura 6. Além disso, a presença de pedestres indicava a necessidade de passeio. Por todos estes motivos o DER concluiu que era

imprescindível a recuperação e reforço visando atender às reais necessidades, juntamente com a incorporação de passarela lateral para pedestres.

**FIGURA 6:** TÍPICO VEÍCULO RODOTREM USADO NO TRANSPORTE DE CANA

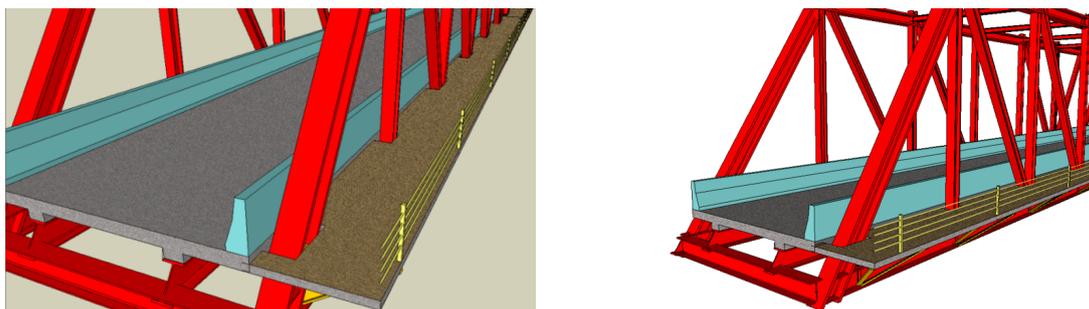


Fonte: Autores.

## 2. CONCEPÇÃO DA READEQUAÇÃO E ALARGAMENTO

Conceitualmente o projeto de reforço original previa a substituição do estrado em madeira por laje em concreto armado, incorporada à estrutura metálica do banzo inferior da superestrutura treliçada. O tabuleiro assim formado apresentaria comportamento de superestrutura mista, uma vez que a laje fosse solidarizada às vigas metálicas por meio de conectores tipo “stud bolt”. Visando atender a necessidade de incorporação de passarela para pedestres, optou-se originalmente por uma estrutura metálica com piso em chapa de aço. A passarela em aço tem como vantagens a leveza e relativa simplicidade e rapidez de execução. Posteriormente, porém concluiu-se que a opção da solução da passarela de pedestres em concreto armado, ilustrada na Figura 7, seria mais interessante, por trazer as seguintes vantagens:

- Maior conforto e sensação de segurança devido ao ganho de rigidez;
- Resistência à corrosão dos agentes agressivos;
- Redução do nível de vibração e ruído (típicos da estrutura metálica esbelta);

**FIGURA 7: MAQUETE DIGITAL DA PROPOSTA DE PASSARELA EM CONCRETO ARMADO**

**FONTE: AUTORES.**

Porém, ao se considerar a carga adicional da laje em concreto e as cargas móveis atuais, restava pouca capacidade resistente da superestrutura para receber as cargas correspondentes ao passeio (peso próprio estrutural e multidão). Para a solução, relativamente leve da passarela metálica, a estrutura treliçada original, trabalhando em conjunto com a laje em concreto armado, ainda teria capacidade portante, porém esta poderia não ser suficiente para as cargas da passarela em concreto.

### 3. SOLICITAÇÕES

A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados do projeto original de reforço com os carregamentos de peso próprio e carga móvel do veículo tipo CVC 74, correspondente ao rodotrem com 74 t de massa, ou aproximadamente 740 kN de peso no total. São mostradas, para cada carregamento, a distribuição das cargas atuantes nas longarinas, as reações de apoio e as respectivas solicitações principais, representadas pelas solicitações normais nos banzos superior e inferior da treliça metálica. Não são consideradas as solicitações de peso próprio da passarela metálica.

**TABELA 1: RESUMOS DOS ESFORÇOS SOLICITANTES NA LONGARINAS**

CARREGAMENTO	Carga distrib. (kN/m)	Reações de apoio (kN)	NORMAL Banzo Sup. (kN)	NORMAL Banzo Inf. (kN)
Peso próprio:				
Treliça metálica	20,4	1 272	761	-741
Laje de concreto	20,5	1 280	715	-693
Guarda-rodas	11,5	716	401	-389
Pavimento	5,4	336	18,7	-181
Repavimento	6,6	412	230	-223
Carga móvel (CVC74)	31,0	1 934	1 020	-984
<b>TOTAL</b>	<b>95,4</b>	<b>5 950</b>	<b>3 314</b>	<b>- 3 211</b>

**FONTE: AUTORES.**

Além da passarela em estrutura metálica, a concepção original do reforço foi idealizada com a laje concretada sobre escoramento provisório, apoiando-se nos elementos do banzo inferior. Visando dar agilidade ao processo construtivo foram propostas pré-lajes de cinco centímetros de espessura abaixo da laje a ser concretada “*in loco*”, cuja espessura de 18cm foi mantida acima da pré-laje. A carga adicional total, correspondente à pré-laje sobre 4,06m de largura ao longo de 62,4m de extensão é, portanto:

$$4,06\text{m} \times 0,05\text{m} \times 62,4\text{m} \times 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 317\text{kN} \quad (1)$$

Considerando-se ainda o acréscimo da passarela de concreto armado em uma das laterais com largura de 1,40m e 0,10m de espessura, a carga adicional correspondente pode ser estimada por:

$$1,40\text{m} \times 0,10\text{m} \times 62,4\text{m} \times 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 218\text{kN} \quad (2)$$

A Tabela 2 apresenta o resumo das solicitações devidas às cargas adicionais de pré-lajes e passarela em concreto.

**TABELA 2.** RESUMOS DOS ESFORÇOS SOLICITANTES ADICIONAIS

CARREGAMENTO ADICIONAL	Carga distrib. (kN/m)	Reações de apoio (kN)	NORMAL Banzo Sup. (kN)	NORMAL Banzo Inf. (kN)
Pré-laje	3,5	218	122	-118
Passarela de concreto	5,1	317	177	-172
TOTAL	8,6	535	299	-290

FONTE: AUTORES.

Comparando-se a soma das resultantes das principais cargas atuantes (5950kN), com a resultante das cargas acrescidas (535kN), observa-se que ocorre uma majoração de quase 10%, o que corresponde a um acréscimo de aproximadamente 300kN de solicitação normal em cada banzo da treliça metálica.

O estudo inicial indicava, após a consideração das sobrecargas da Tabela 1, coeficientes de utilização (esforço solicitante /esforço resistente) com folga da ordem de apenas 20%. Embora o acréscimo de 10% nas solicitações ainda seria tecnicamente aceitável, o fato de reduzir à metade a margem de segurança já estreita, em uma estrutura com idade de cerca de um século, não parecia adequado. Mesmo que a avaliação das solicitações e resistências

tenha obedecido aos critérios atuais de norma e de forma bastante minuciosa, decidiu-se manter a margem de segurança inicialmente obtida. Desta forma, tornou-se necessário reforçar o sistema estrutural visando ganhar cerca de 10% de resistência.

#### **4. PROJETO DE REFORÇO**

##### **4.1. EMBASAMENTO TÉCNICO-CIENTÍFICO PARA A OPÇÃO PELA PROTENSÃO**

Como forma de se evitar um reforço convencional na estrutura metálica, visando suportar as cargas da passarela em concreto, foi então proposto que se utilizasse o artifício da protensão. No caso das estruturas em concreto, a protensão elimina (ou reduz significativamente) as tensões trativas ao impor um sistema de forças autoequilibradas, em oposição à ação das cargas preponderantes. No caso das estruturas metálicas a redução de tensões de tração pode não parecer um benefício, já que o material resiste tão bem à tração quanto à compressão. Além disso, uma seção plenamente comprimida pode induzir alguma forma de instabilidade estrutural (flambagem local ou mesmo global). Porém, a vantagem da imposição de forças opostas ao carregamento atuante certamente é interessante, justificando a aplicação da protensão. Pode-se assim concluir que a protensão, bem calibrada, aplicada às estruturas metálicas pode contribuir para se atenuar os efeitos da flexão. No caso em questão, em que a laje em concreto torna-se parte de uma estrutura mista, situada na região do banzo tracionado, a protensão é ainda mais interessante, pois atua no sentido de impor compressão nesta região.

Existem relativamente poucas publicações sobre protensão em estruturas metálicas. Podem-se destacar alguns trabalhos tais como Mukhanov (1968), onde se indica que os desviadores devem ser colocados ao longo da viga espaçados entre si de 1,5 a 2,0 metros, visando limitar o comprimento de flambagem do flange, concluindo que as vigas metálicas protendidas podem apresentar economia do aço entre 10% e 18%. Sampaio Junior (1976) apresenta estudos de “otimização” em vigas metálicas de seção I, com o traçado reto dos cabos abaixo do flange inferior, avaliando potencial economia em peso da ordem 15% a 30% com a protensão. Há cerca de uma década, Nunziata (1999) e Masullo e Nunziata (2003) apresentam uma série de estudos sobre vigas metálicas protendidas, apresentando um método

simplificado de cálculo, bem como de execução da protensão neste tipo de viga, indicando economia em torno de 15% no material no caso de viga isolada.

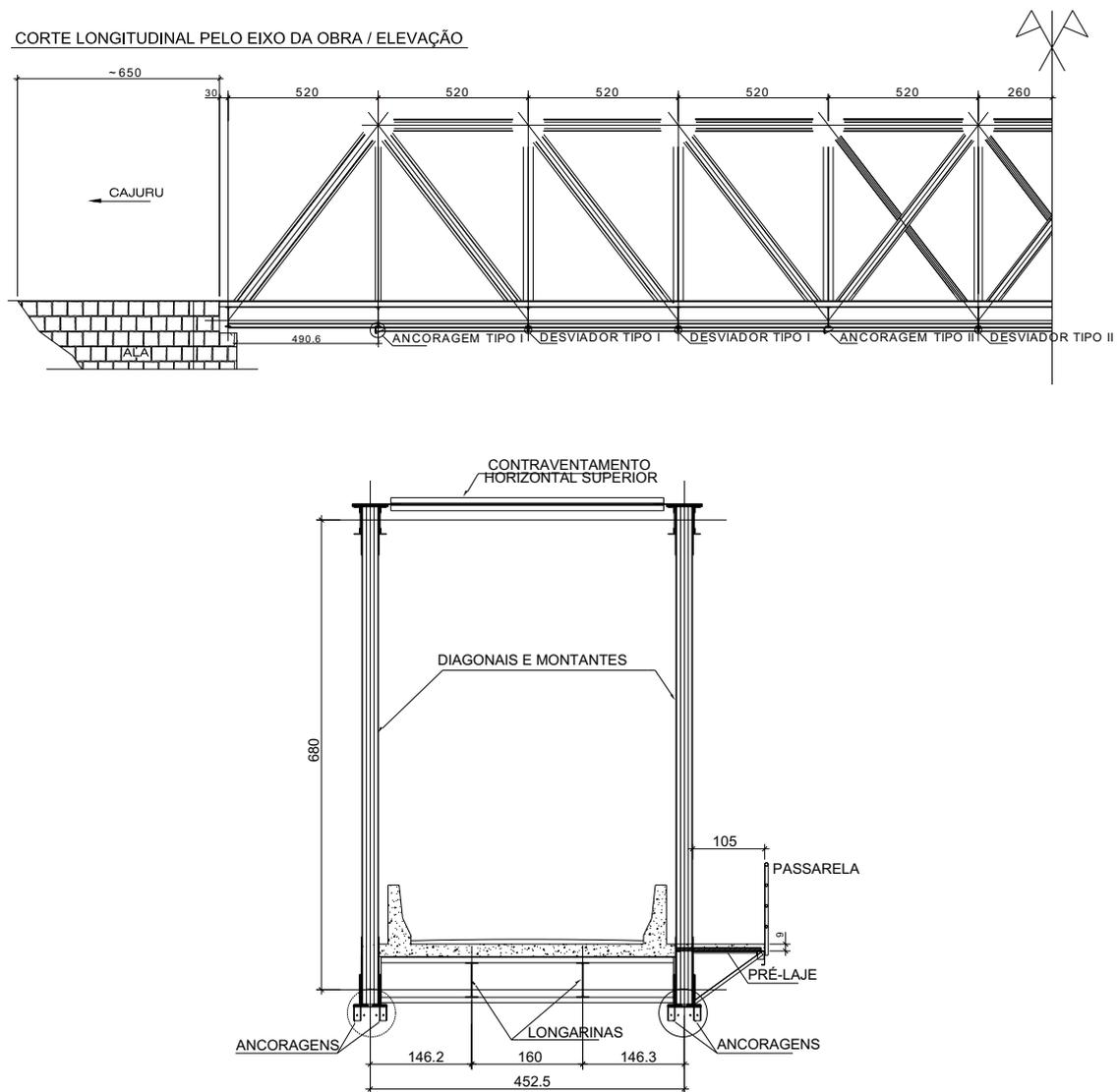
Mais recentemente, novos trabalhos foram publicados: Ferreira (2007) desenvolveu modelos numéricos de duas vigas de seção I, com traçados poligonal e retilíneo abaixo do flange inferior. Ambas demonstraram aumento na capacidade resistente, entretanto, travamentos tornaram-se necessários para evitar a instabilidade lateral. Além disso, foram desenvolvidas formulações matemáticas para obtenção de resposta dinâmica das vigas após o rompimento brusco dos cabos. Rezende (2007) estudou vigas biapoiadas com traçado retilíneo e concluiu que houve redução das flechas nas vigas, possibilitando um aumento da esbeltez. Constatou-se também a necessidade de travamento lateral para evitar instabilidade lateral por torção.

Jia e Liang (2010) desenvolveram equações através de método variacional para determinação do aumento das tensões e deformações resultantes da protensão das vigas metálicas. Belletti e Gasperi (2010) analisaram vigas metálicas protendidas com vãos entre 35m e 45m, variando o número de desviadores e a intensidade da força de protensão, até a ruptura. Foram consideradas as não linearidades física e geométrica. Verificou-se a instabilidade lateral das vigas, bem como o aumento da capacidade resistente pelo efeito da protensão.

#### **4.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PROTENSÃO**

Em face das características da estrutura, foram empregados cabos constituídos por monocordoalhas engraxadas e protegidas em bainhas plásticas de PEAD (polietileno de alta densidade), posicionados imediatamente abaixo do banzo inferior, com ancoragens e desviadores posicionados nos nós da treliça. Desta forma, cada viga foi reforçada com quatro cordoalhas de 15,2mm de diâmetro em aço CP190RB, com 36m de extensão e 20m de transpasse. As cordoalhas foram ancoradas aos pares, no alinhamento do 1º e do 4º montantes, contados a partir das extremidades das treliças, conforme mostra o meio corte longitudinal da Figura 8.

**FIGURA 8:** VISTA ESQUEMÁTICA DA ESTRUTURA EM MEIO CORTE LONGITUDINAL E SEÇÃO TRANSVERSAL



FONTE: AUTORES.

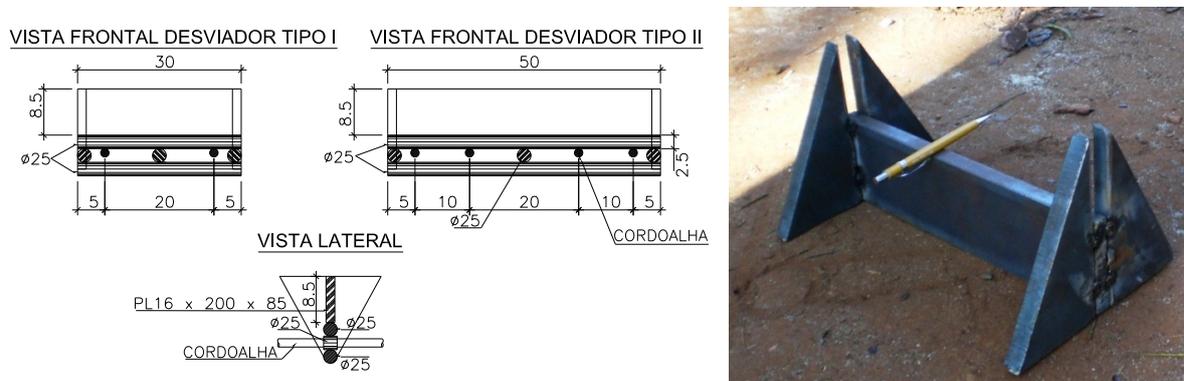
As Figuras 9 e 10 ilustram, respectivamente, os desenhos de projeto das ancoragens e dos desviadores, juntamente com fotos dos elementos metálicos em conclusão de fabricação. Todos os elementos metálicos foram fabricados com o aço A-36 e, posteriormente, soldados na estrutura conforme projeto executivo.

**FIGURA 9:** DESENHOS DE PROJETO DAS ANCORAGENS E FOTO DE UM ELEMENTO FABRICADO



**FONTE:** AUTORES.

**FIGURA 10:** DESENHOS DE PROJETO DOS DESVIADORES E FOTO DE UM ELEMENTO FABRICADO



**FONTE:** AUTORES.

A análise dos efeitos da protensão e respectiva verificação seguem procedimentos relativamente simples, obedecendo-se as prescrições da NBR 6118:2007, conforme apresentado a seguir:

- Área da seção da cordoalha de diâmetro 15,2mm:  $A_p = 1,40\text{cm}^2$ ;
- Tensão de puxada  $0,74 f_{ptk}$  (NBR 6118 - item 9.6.1.2.1)

$$0,74 \times 190 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 141 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3)$$

- Força de protensão para uma cordoalha:

$$141 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 1,40\text{cm}^2 = 197\text{kN} \quad (4)$$

- Perda por recuo da ancoragem = 6mm

- Alongamento total do cabo com 36,0m (considerando  $E = 195GPa = 19.500kN/cm^2$ )

$$\Delta L = \varepsilon \cdot L = \frac{\sigma}{E} \cdot L = \frac{141 \text{ kN/cm}^2}{19.500 \text{ kN/cm}^2} \times 36.000 \text{ mm} = 260 \text{ mm} \quad (5)$$

- Percentual de perda por ancoragem:

$$\frac{6 \text{ mm}}{260 \text{ mm}} \times 100 = 2,31\% \quad (6)$$

- Perda por relaxação em tempo 1.000h CP-190-RB (8.4.8 NBR6118) = 3,0%
- Perda para tempo infinito (9.6.3.4.5 NBR6118),  $t = (10 \text{ anos}) = 10 \times 365 \times 24 = 87.600h$

$$\psi = 3,0 \left( \frac{87.600}{41,67} \right)^{0,15} = 9,5\% \quad (7)$$

- Perda Total = 2,3% + 9,5% = 11,8%
- Força de protensão em uma cordoalha após as perdas =  $(1 - 11,8\%) \times 197 \text{ kN} = 174 \text{ kN}$

Logo, com a adoção de dois pares de cordoalhas em cada banzo inferior, transpassados em 20,8m introduz-se uma força de compressão por protensão máxima na seção central de  $4 \times 174 = 696 \text{ kN} \sim 700 \text{ kN}$ .

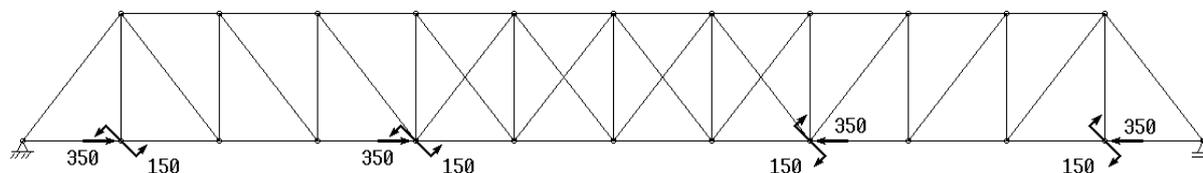
#### 4.3. ANÁLISE DOS EFEITOS DA PROTENSÃO

Para determinação do efetivo alívio de solicitação normal no banzo inferior por efeito da protensão, deve-se analisar o comportamento conjunto da estrutura. Para isto considerou-se um modelo estrutural do tipo pórtico plano com os elementos das treliças originais acrescentando-se a contribuição da laje de 18cm de espessura solidária às vigas longarinas do estrado. No modelo, os elementos de seção mista (laje em concreto + perfil metálico da longarina) foram definidos independentes dos elementos (apenas metálicos) do banzo inferior, visando determinar isoladamente as solicitações neste último.

A Figura 11 apresenta o modelo correspondente ao modelo de um painel de treliça com a atuação das forças de protensão em cada par de cordoalhas (350kN) nos pontos de

ancoragem. Os momentos aplicados de 150kN.m resultam da excentricidade entre o alinhamento do cabo e o centroide do banzo inferior.

**FIGURA 11:** MODELO DE UM PAINEL DE TRELIÇA COM ATUAÇÃO DAS FORÇAS DE PROTENSÃO (kN, kN.M)



FONTE: AUTORES.

Os resultados da análise estrutural indicaram que o banzo inferior sofreu um alívio de 290kN (compressão por ação da protensão), em sua seção mais solicitada, cujas solicitações foram apresentadas nas tabelas 1 e 2. O valor coincide exatamente com o acréscimo de solicitação advinda da solução alternativa de passarela em concreto e pré-lajes. O elemento de seção mista (longarina + laje) absorveu 450kN, que representou um acréscimo de compressão longitudinal de 1,0kN/cm<sup>2</sup> (1,0MPa) na laje do tabuleiro. O banzo superior recebeu 50kN de solicitação normal de tração por ação da protensão. Desta forma todos os elementos estruturais foram favorecidos, dentre os quais o banzo inferior mais significativamente por ter retornado à condição inicial (em termos de margem de segurança), antes da adoção da passarela em concreto.

#### 4.4. SOLICITAÇÕES NAS LAJES

Quanto à laje, esta foi executada com o auxílio de pré-lajes de concreto armado, que são consideradas funcionando juntamente com o concreto moldado no local na região de momentos negativos, sobre a viga principal. Conforme já descrito a espessura da laje concretada “*in loco*” foi mantida em 18cm conforme projeto original. Para a laje do passeio, foi suficiente a espessura total de 10cm, sendo 5cm de pré-laje e 5cm do capeamento complementar.

Para a obtenção das solicitações de cálculo na configuração estrutural da laje em concreto foram considerados os seguintes carregamentos:

- Cargas permanentes (peso próprio estrutural e sobrecargas);

- Carga móvel na pista (CVC 74);
- Multidão sobre o passeio (3,0kN/m<sup>2</sup>).

Considerou-se ainda para as o coeficiente de impacto ( $\phi$ ), dado por:

$$\phi = 1,4 - 0,007 \cdot L \geq 1,0 \quad (8)$$

#### 4.5. VERIFICAÇÃO DA INFRAESTRUTURA

Quanto à infraestrutura, os encontros de pedra têm altura aproximada de sete metros, com faces externas verticais, com duas abas laterais também em pedra, com extensão de seis metros cada. Foi verificado após vistoria que os encontros apresentavam-se em boas condições, não havendo sinais de recalque ou danos que indicassem problemas estruturais.

Como houve o aumento das cargas permanentes e móveis, foi feita uma verificação das reações de apoio da obra e, posteriormente, comparação com a estimativa das reações do projeto original. Entretanto, por se tratar de um projeto do início do século passado, onde não se tem registros da memória de cálculo, adotaram-se como parâmetro de comparação as cargas móveis de trem-tipo ferroviário de bitola métrica TB-16, referente à NB7 do ano de 1943. Os valores indicaram que as fundações apresentavam reservas plenamente suficientes para o aumento das cargas.

#### 4.6. ETAPAS CONSTRUTIVAS

A sequência de fotos a seguir visa complementar a ilustração das diversas etapas das obras de recuperação, reforço e alargamento da ponte.

**Figura 12:** Detalhe da remoção do estrado original e das pré-lajes entre longarinas



FONTE: AUTORES.

**FIGURA 13:** VISTA TRANSVERSAL EM TRÊS FASES DA RECUPERAÇÃO – NOTAR PRÉ-LAJES E PASSEIO



FONTE: AUTORES.

**FIGURA 14:** CONECTORES DE ARGOLA NA TRANSVERSINA E NA LONGARINA



FONTE: AUTORES.

**Figura 15:** Vista inferior durante a recuperação – notar estrutura metálica do passeio



FONTE: AUTORES.

**FIGURA 16.** DETALHE DO POSICIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTENSÃO (EM AMARELO)



FONTE: AUTORES.

**FIGURA 17:** VISTA LATERAL - FASE FINAL DA RECUPERAÇÃO – DESVIADORES E ANCORAGENS EM AMARELO



FONTE: AUTORES.

**FIGURA 18:** VISTA INFERIOR NA CONCLUSÃO DAS OBRAS— NOTAR PASSEIO E DISPOSITIVOS DE PROTENSÃO

FONTE: AUTORES.

## 5. CONCLUSÕES

Existe uma carência em termos normas e publicações técnicas a respeito da aplicação de protensão às estruturas metálicas. Assim, não se dispõe de procedimentos de análise e dimensionamento bem estabelecidos para uso na prática de projeto e construção. Este fato indica que o tema ainda não foi tratado de forma suficiente em estudos teóricos e experimentais, dificultando (ou ao menos inibindo) a difusão desta técnica em aplicações práticas. Embora apresente benefícios menos expressivos do que no caso do material concreto, a protensão de estruturas metálicas traz vantagens, sendo particularmente interessante ao caso de reforço estrutural para pequeno ganho de capacidade portante. A técnica pode ser executada na estrutura em serviço, adicionando peso desprezível e com custo relativamente baixo. No exemplo prático apresentado, do reforço da Ponte do Rio Pardo, demonstrou-se que a protensão permitiu absorver na totalidade as solicitações normais (290kN) produzidas por cargas adicionais, favorecendo ainda a laje com uma solicitação normal de compressão longitudinal de 1,0MPa, e o banzo superior, com uma solicitação normal de tração de 50kN. Espera-se que este trabalho contribua para despertar o interesse em estudos e aplicações semelhantes no Brasil.

## BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), (2007), **NBR-6118**. "Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento". Rio de Janeiro, Brasil.

Belleti, B. and Gasperi, A. (2010). **Behavior of prestressed steel beams**. J. Struct. Engrg. Vol. 136, n. 9, pp. 1131-1139.

Ferreira, Aline Caires (2007). **Vigas metálicas protendidas: análise estática, modal e ruptura do cabo de protensão e aplicativo computacional para projetos**. Mestrado, UNB, Brasília, DF.

Jia, Y. M. and Liang, D.W. (2010). **Numerical analysis of prestressed steel box beams**. Advanced Materials Research v.163-167, p.862-865.

Masullo, A. & Nunziata, V. (2003). - **Prestressed Steel Structures: Historical and Technological Analysis** - Second International Structural Engineering and Construction Conference Roma 23-26 settembre.

Mukhanov, K.K. **Design of Metal Structures**. Moscow: Mir Publishers, 1968.

Nunziata, V. (1999). "**Prestressed Steel Structures**" XVII Congresso C.T.A. Collegio dei Tecnici dell'Acciaio - Napoli 3 -4 - 30 ottobre.

Rezende, Carina da Ross (2007). **Análise estrutural de vigas metálicas protendidas**. Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.

Sampaio Jr., Cassio Ferraz (1976). **Dimensionamento econômico de vigas protendidas de aço**. Mestrado, USP-EESC, São Carlos, 100 p.

# RESUMO SOBRE OS



# AUTORES

**Daniel Nelson Maciel**

[dnmaciel@ect.ufrn.br](mailto:dnmaciel@ect.ufrn.br)

É graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2000), com mestrado em Engenharia Civil e ênfase em Engenharia de Estruturas, pela Universidade de São Paulo (2003). Doutorado na mesma área pela Universidade de São Paulo (2008), tendo realizado estágio doutoral na Universidade de Cambridge, no Reino Unido. Possui experiência como engenheiro de Estruturas Aeronáuticas (Stress Engineer), tendo trabalhado nas empresas Akaer Engenharia, Aernnova Engineering e Boeing Company. Atualmente, é Professor Associado na Escola de Ciências e Tecnologia da UFRN e Professor permanente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PEC) da UFRN. Suas áreas de interesse incluem formulações não lineares no Método dos Elementos Finitos, Análise Dinâmica de Estruturas, Termomecânica e Hiperelasticidade.

**Eduardo Bicudo de Castro Azambuja**

[ebcazambuja@azmb.com.br](mailto:ebcazambuja@azmb.com.br)

É graduado em Engenharia Civil pela Universidade de Brasília (UnB) em 1991, com especializações em Tecnologia para Uso do Aço pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Gestão Empresarial pelo UniCEUB, e Avaliações e Perícias em Engenharia pelo Instituto de Educação Tecnológica De Luca Daher. Possui também mestrado em Tecnologia pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (FAU-UnB). Possui experiência na área de Engenharia Civil, com foco em Estruturas Metálicas e Concreto Armado, atuando em projetos, reforço e recuperação estrutural. Atualmente, é professor no Instituto de Pós-graduação (IPOG).

**Eduardo Valeriano Alves**

[eduardovalerianoalves@gmail.com](mailto:eduardovalerianoalves@gmail.com)

Graduado em Engenharia Civil com ênfase em Estruturas pela UERJ (1983), possui Mestrado em Engenharia Civil com especialização em Estruturas pela COPPE/UF RJ (1994) e Doutorado em Engenharia Civil pela UFF (2009). Atualmente, é Professor Associado no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense (UFF). Com vasta experiência na área de Estruturas, sua atuação concentra-se em projetos, construção e reabilitação de pontes e viadutos, com especial destaque para a utilização de concreto protendido.

**Fernanda Karen Melo da Costa**

[fernandakmcosta@gmail.com](mailto:fernandakmcosta@gmail.com)

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2018), mestrado em Engenharia Civil pela mesma instituição (2021), além de formação técnica em Tecnologia da Informação com ênfase em Informática para Internet (2013) e em Edificações (2013), ambos pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte e Instituto Federal do Rio Grande do Norte, respectivamente. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com foco em Estruturas, atuando principalmente nos seguintes temas: pontes de concreto, fator de distribuição de cargas, alargamento de pontes, e Método dos Elementos Finitos (MEF).

**Flávia Moll de Souza Judice**

[flaviamoll@poli.ufrj.br](mailto:flaviamoll@poli.ufrj.br)

É graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (1994), com mestrado (1998) e doutorado (2002) em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ. Desde 2006, atua como professora no Departamento de Estruturas (DES) da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Sua experiência é voltada para a área de Engenharia Civil, com ênfase em Estruturas de Concreto, trabalhando especialmente com concreto armado e protendido, pontes e pré-fabricados. Atualmente, exerce o cargo de Chefe do Departamento de Estruturas (DES) e é Representante Titular no Conselho de Ensino de Graduação (CEG) da UFRJ.

**Gláucyo Santos**

[glaucyo.santos@gmail.com](mailto:glaucyo.santos@gmail.com)

É graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Uberlândia (1993) e possui mestrado em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (2003). Possui experiência na área de Engenharia Civil, com foco em Métodos Numéricos, e trabalha principalmente com os temas de software educativo, ensino de engenharia, elementos finitos e método das forças. Também atua na elaboração de projetos e reforços em estruturas metálicas, concreto armado e protendido, voltados para obras de infraestrutura e edificações.

### **Iberê Pinheiro de Oliveira**

[iberep@gmail.com](mailto:iberep@gmail.com)

Graduado em Engenharia Civil pela UFMG (1995), com mestrado (2019) e doutorado (2023) em Arquitetura na área de Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade pela PPGFAU/UnB, com publicações focadas no ciclo de vida dos imóveis, mecanismos de degradação, desempenho, obsolescência e depreciação. Pós-graduado em Auditoria, Avaliações e Perícias pelo IPOG e em Projeto, Execução e Manutenção de Edificações pelo UniCEUB. É membro efetivo e revisor da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), participando da elaboração de normas como a ABNT NBR 14653 (Avaliação de bens), ABNT NBR 6118 (Projeto de estrutura de concreto) e ABNT NBR 15200 (Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio), entre outras. Atuou como Vice-Presidente do IBAPE/DF, é filiado ao ICOMOS-DF e pesquisador do Laboratório do Ambiente Construído (LabRAC). Com experiência em diversas áreas da construção civil, já inspecionou mais de 1.000.000 metros quadrados, e trabalhou com projetos e cálculos estruturais em concreto, madeira e aço, além de execução de obras. É autor do livro 'Como Cuidar do Seu Imóvel'.

### **João da Costa Pantoja**

[joaocpantoja@gmail.com](mailto:joaocpantoja@gmail.com)

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade de Brasília (1991), com mestrado em Estruturas e Construção Civil pela mesma instituição (2003) e doutorado em Estruturas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC) (2012), tendo realizado estágio doutoral na University of Illinois at Urbana-Champaign, IL, Estados Unidos. Completou o pós-doutorado na Universidade do Porto - FEUP (2018). Desde agosto de 2014, é Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia na área de Estruturas da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Sua atuação acadêmica inclui especialização em modelos numéricos aplicados a estruturas, patologia das estruturas, inspeções especializadas, reabilitação estrutural para conservação patrimonial, modelos multicritérios para avaliação de imóveis urbanos e bens singulares, e modelos para certificação de empreendimentos. Na área profissional, foi responsável pela implementação do processo AGÊNCIA 93 nas agências bancárias do centro-oeste, nordeste e norte do Brasil pelo grupo ITAÚ, realizando inspeções preliminares, execução de planilhas de serviços, fiscalização e gerenciamento de obras de 1992 a 1995. Coordenou projetos para a implantação do trecho subterrâneo do METRO/DF na Asa Sul, incluindo oito estações enterradas e a execução completa do túnel em Brasília/DF, de 1996 a 2000. Acumulou aproximadamente 200 anotações de responsabilidade técnica (ARTs) relativas a consultoria técnica, execução e gerenciamento de obras, projetos civis em edificações, laudos

técnicos, pareceres e perícias entre 1992 e 2022. É coordenador do Laboratório de Reabilitação do Ambiente Construído (LabRAC) da Universidade de Brasília e tem coordenado diversos projetos de pesquisa nas áreas de Arquitetura e Engenharia focados na reabilitação de edificações.

**Joel Araújo do Nascimento Neto**

[joel.neto@ufrn.br](mailto:joel.neto@ufrn.br)

É graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (1996), com mestrado (1999) e doutorado (2003) em Engenharia Civil com ênfase em Estruturas, ambos pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Atualmente, é Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PEC/UFRN). Possui experiência na área de Engenharia Civil com foco em Estruturas de Concreto e Alvenaria, trabalhando principalmente com modelagem de edifícios, alvenaria estrutural, painéis de contraventamento e interação parede-viga.

**José Neres da Silva Filho**

[jneres@ect.ufrn.br](mailto:jneres@ect.ufrn.br)

É graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) (1996), com mestrado (2000) e doutorado (2005) em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (UnB), tendo realizado parte do doutorado na North Carolina State University (NCSU), EUA (2002/2004). Possui também MBA Executivo em Gerência e Controle de Projetos pela Universidade Gama Filho (UGF) (2007). Atuou como consultor do DNIT em Obras de Arte Especiais, incluindo pontes, estruturas de contenção e viadutos. Foi Professor Adjunto e Diretor de Planejamento e Infraestrutura na Universidade Federal de Roraima (UFRR), onde coordenou o planejamento e a construção das obras de Reestruturação Universitária (REUNI) e presidiu várias comissões de licitações (CPL-UFRR). Também foi consultor do Conselho de Trânsito do Estado de Roraima (CETRA-RR). Foi Professor Adjunto na Escola de Ciências e Tecnologia da UFRN e, atualmente, é Professor Associado no Departamento de Engenharia Civil e na Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRN. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Planejamento e Controle de Obras, Licitação de Obras Públicas, Estruturas de Concreto Armado e Protendido, Patologia das Estruturas, Projeto de Edifícios, Estruturas de Madeira, Projeto, Recuperação e Reforço de Estruturas, Interação Solo-Estruturas, Aerogeradores Onshore, Pontes em Concreto Armado e Protendido, e Modelagem de Estruturas.

**Karen Andreza Marcelino**  
[karen.marcelino.106@ufrn.edu.br](mailto:karen.marcelino.106@ufrn.edu.br)

É doutoranda no Departamento de Engenharia Civil, de Construção e Ambiental (CCEE) da North Carolina State University (NCSU). Possui curso técnico em Geologia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), onde teve bolsa de Iniciação Científica do CNPq, e mestrado em Engenharia Civil e Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFRN (PPCivAm/UFRN), com ênfase em Estruturas e bolsa de mestrado CAPES/DS. Tem interesse na área de Estruturas de Concreto e participou de projetos de pesquisa em Geotecnia.

**Luiz Carlos de Almeida**  
[luish.pinheiro@hotmail.com](mailto:luish.pinheiro@hotmail.com)

É engenheiro Civil formado em 1978, com mestrado (2001) e doutorado (2006) em Engenharia Civil com ênfase em Estruturas pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Completou dois pós-doutorados na Universidad Castilla-La Mancha, em 2008 e 2016. Desde 1978, é Professor Associado I (MS-5.1) em Regime de Dedicção Integral à Docência e à Pesquisa (RDIDP) na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU) da UNICAMP. Leciona no curso de Graduação em Engenharia Civil, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e no curso de Formação de Especialista em Estruturas de Concreto Armado. Foi Vice-Prefeito da Cidade Universitária Zeferino Vaz da UNICAMP, Chefe do Departamento de Estruturas da FEC/UNICAMP e Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Civil. Também coordenou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil de 2018 a 2021 e atualmente é Coordenador do Curso de Formação de Especialista em Projetos de Estruturas de Concreto Armado. Sua experiência na área de Engenharia Civil é focada em Estruturas de Concreto Armado, com ênfase em análise estrutural, diagnóstico estrutural, patologias das estruturas de concreto armado, análise inversa e monitoração estrutural.

**Leandro Mouta Trautwein**  
[leandromt@unicamp.br](mailto:leandromt@unicamp.br)

Possui graduação em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (1998), mestrado em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (2001) e doutorado em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2006). Obteve o título de Livre Docência em 2021 pela UNICAMP. Atualmente é professor Associado da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Análise Estrutural, atuando

principalmente nos seguintes temas: concreto armado e protendido, modelagem computacional via método dos elementos finitos, análise experimental de estruturas e monitoração de estruturas. É líder do grupo de pesquisa GMAE/Unicamp (Grupo de Monitoração e Análise Numérica de Estruturas) e do Laboratório de Modelagem Estrutural e Monitoração. Foi agraciado com o prêmio de Melhor de Tese de Doutorado em Estruturas no ano de 2008, em concurso promovido pelo Instituto Brasileiro do Concreto. Foi coordenador do Comitê Científico do Congresso Brasileiro do Concreto, por 4 anos. É membro atuante de diversas Comissões de Estudo da ABNT e do IABMAS (International Association for Bridge Maintenance and Safety) e do Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON. Autor de trabalhos e artigos técnico-científicos publicados em congressos, nacionais e internacionais e em periódicos indexados.

**Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa**

[leonardo@inojosa.com.br](mailto:leonardo@inojosa.com.br)

É graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (2003), com mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília (2010) e doutorado pela Universidade de Brasília (2019) e Especialização Master em Estruturas de Edificações pela Universitat de Barcelona (2022). Atuou como chefe do Departamento de Edificações - DEDI, da NOVACAP - Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (2015-2017) e como Diretor do CEPLAN - Centro de Planejamento Oscar Niemeyer - UnB (2020-2021). Tem experiência acadêmica em Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Tecnologia da Arquitetura, Estruturas e Representação Gráfica, atuando principalmente nos seguintes temas: arquitetura, projeto, sistema estrutural, estrutura de concreto, desenho técnico e BIM - Building Information Modeling. Atualmente é professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (FT-UnB).

**Luís Henrique Bueno Pinheiro**

[luish.pinheiro@hotmail.com](mailto:luish.pinheiro@hotmail.com)

É engenheiro Civil pela Unesp de Ilha Solteira, Mestre em Engenharia Civil, na área de Estruturas e Geotécnica pela Unicamp, Diretor na Arcoponte Consultoria e Projetos Ltda. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia de Estruturas, atuando principalmente nos seguintes temas: Consultoria técnica de estruturas de concreto armado, protendido, metálicas e madeiras, incluindo a interação com o solo; Inspeção, investigação, testes, avaliação do quadro patológico das estruturas e Terapia de estruturas. Cálculo Estrutural: Dimensionamentos, cálculos estruturais e elaboração de projetos estruturais básicos e executivos de obras de arte especiais, estações

ferroviárias e metroviárias, obras enterradas, portos, dentre outras obras de infraestrutura e de edificações, industriais e residenciais; Análise estrutural quanto à capacidade portante de pontes e viadutos; Estudo de Viabilização de Transporte de Cargas; Reforço de pontes e outras estruturas por várias técnicas, dentre elas Protensão Externa e Fibras de Carbono; Estruturas mistas de madeira e concreto; Uso de cálculo pelo Método dos Elementos Finitos; Ensaio e Testes Estruturais: Provas de carga; Instrumentação de estruturas; Avaliação de dados adquiridos; Ensaio destrutivo e não destrutivo em estruturas metálicas, madeiras, concreto armado e protendido; Testes e provas de carga em solos, estruturas de fundação e estruturas enterradas; Demais: Desenvolvimento de projeto estrutural de edificações comerciais e residenciais multifamiliares (conjuntos residenciais); Desenho técnico 2D e 3D em softwares CAD, como AutoCAD e ArchiCAD (plataforma BIM). Projetos de estruturas e fundação.

**Márcio Augusto Roma Buzar**  
[marcio.buzar@gmail.com](mailto:marcio.buzar@gmail.com)

É graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (1994), com mestrado (1996) e doutorado (2004) em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (UnB). É Professor Associado na UnB, onde coordenou o Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura (PPG-FAU-UnB) de 2013 a 2015. Tem ampla experiência em Engenharia Civil, com destaque para projetos de Segurança Estrutural e participação no Projeto REUNI, no qual projetou e coordenou mais de 250 mil m<sup>2</sup> nos campi da UnB. Desde 2005, leciona no Programa de Pós-Graduação da FAU-UnB nas áreas de Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade, e sistemas estruturais. É coordenador da Linha de Pesquisa Estrutura e Arquitetura e ministra a disciplina Patologia das Construções na Pós-Graduação. Colabora com a Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros do DF, com foco em monitoramento de áreas de risco. Suas pesquisas incluem a reabilitação de Obras de Arte Especial (OAEs) e o estudo de novos materiais como concreto translúcido, leve e colorido, além do uso de resíduos da construção (RCD) e EPS. Investiga a integração entre projetos estruturais e arquitetônicos e estuda a estruturação das obras de Oscar Niemeyer. Recentemente, tem se dedicado à sustentabilidade na construção e à computação gráfica aplicada às estruturas. Com formação em mecânica das estruturas, atua principalmente em análise estrutural de edifícios, análise plástica limite e métodos dos elementos finitos. Foi Diretor do Departamento de Estradas e Rodagens do Distrito Federal (DER-DF) em 2018, coordenando a reabilitação do Viaduto do Eixo Rodoviário Sul (Eixão) e a construção da Saída Norte de Brasília, que inclui mais de 27 viadutos e pontes. Também propôs metodologias para a análise de OAEs, auxiliando na recuperação de patrimônio moderno. Atuou como Diretor de Edificações da NOVACAP (2015-2017), coordenando centenas de obras públicas em Brasília.

Foi agraciado com a Medalha da Defesa Civil do Distrito Federal, o Título de Comendador do Corpo de Bombeiros do DF e a Medalha Mérito Segurança Pública da Secretaria de Estado de Segurança Pública do DF. Atualmente, realiza pós-doutorado na FEUP, Universidade do Porto, Portugal, sob a orientação do Professor Catedrático Humberto Varum.

**Marcos Henrique Ritter de Gregório**

[marcos@ritter.arq.br](mailto:marcos@ritter.arq.br)

MESTRE em Tecnologia pelo Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (UnB - 2010). PROFESSOR da Faculdade de Tecnologia do Centro Universitário de Brasília - CEUB. Sócio das empresas "Construtora Ritter", "Victum Manutenção Predial" e "AlugaDF". CONSULTOR da "Projetos Consultoria Integrada" na área de edificações. Possui graduação em ARQUITETURA E URBANISMO pelo Centro Universitário de Brasília (UniCEUB - 2006). Concluiu 50% do curso de graduação em ENGENHARIA CIVIL da Universidade de Brasília (UnB - 1998-2001).

**Mayra Soares Pereira Lima Perlingeiro**

[mayraperlingeiro@id.uff.br](mailto:mayraperlingeiro@id.uff.br)

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (UFF), com mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (UFRJ) e doutorado em Engenharia Civil pela UFRJ. É professora associada DE, com atuação nos cursos de graduação e de pós-graduação em Engenharia Civil da UFF, vice-coordenadora do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFF desde 2021; Editor-chefe da Revista Científica Engevista desde 2023; professora colaboradora na Escola Politécnica da UFRJ. Participou do Comitê da ABNT/CEE-231 no Projeto de Revisão ABNT NBR 7187:2021 e ABNT NBR 6118:2023. Diretora técnica do IBRACON da Regional Rio de Janeiro biênio 2021-2023 e 2023-2025. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Estruturas de Concreto, atuando principalmente nos seguintes temas: projetos de engenharia, análise estrutural, concreto armado, concreto protendido, concretos especiais, reforço estrutural e pontes. Coordenou projeto sobre Comportamento de Elementos Estruturais em Concreto Armado e Protendido na UFF. Suas publicações têm como foco temas relacionados ao comportamento de elementos estruturais em concreto armado e protendido, reforço com materiais compósitos de resina e fibras em elementos estruturais de concreto e dimensionamento de pontes. É membro do projeto de pesquisa Metodologias e Processos Inovadores com Foco na Redução de Patologias e Melhoria do Desempenho dos Materiais de Construção cadastrado na plataforma Sucupira.

**Naiara Guimarães de Oliveira Porto**

[naiara.porto@aluno.unb.br](mailto:naiara.porto@aluno.unb.br)

Doutoranda na área de Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade, pelo Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, financiada, parcialmente, pela FAP/DF. Possui mestrado em Reabilitação Estrutural de Edifícios pela Universidade de Coimbra (2020). Especialização em Reabilitação Ambiental e Sustentável Arquitetônica e Urbanística (em andamento). Graduação em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de Brasília (2016). Atua na área de engenharia civil, com ênfase em análise e reabilitação estrutural, patologias das estruturas e engenharia diagnóstica, com a realização de perícias, inspeções especializadas e elaboração de laudos e projetos. Realizou trabalhos e publicações relacionados aos estudos de concreto armado, metodologias de análise de danos em edificações e em patrimônios culturais. Atualmente faz parte como pesquisadora colaboradora do Laboratório de Reabilitação do Ambiente Construído (LabRAC) da Universidade de Brasília.

**Olímpia Loures Vale Pujatti**

[olimpia.ufop@gmail.com](mailto:olimpia.ufop@gmail.com)

Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2020), MBA em Gerenciamento de Projetos pela FGV (2015) e Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto (2010). Trabalhou durante 6 anos na área de planejamento e qualidade em obra de construção de estação metroviária. Atualmente é professora do curso de Engenharia Civil na Universidade Potiguar.

**Patrícia Caroline Souza da Rocha Vieira**

[patriciavieira88@yahoo.com.br](mailto:patriciavieira88@yahoo.com.br)

Engenheira civil formada desde 2016; pós graduada em Auditoria, Avaliações e Perícias de Engenharia em 2019; pós graduada em Construções Sustentáveis e Ecurbanismo em 2020; Pós graduada em Patologia das construções em 2021; Pós graduanda em BIM Management; Atualmente trabalhando com obras de pequeno e médio porte em concreto armado e estrutura metálica; Obras executadas e serviços executados: Galpões em estrutura metálica Prédio em estrutura mista (concreto armado e estrutura metálica) Prédio residencial em concreto armado Laudos técnicos Serviços de manutenção predial.

**Paulo Robert Santos Machado**

[robertsm@gmail.com](mailto:robertsm@gmail.com)

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Paulista (2010) e Mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela universidade de Brasília (2024). Atualmente é analista de gestão e fiscalização rodoviária - Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia Rodoviária, Projetos e Construções.

**Ramon Saleno Yure Rubim Costa Silva**

[salenojure@hotmail.com](mailto:salenojure@hotmail.com)

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (2009), com Mestrado e Doutorado em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília. Trabalhou como Gerente de Projetos na VALEC por 8 anos. Atualmente, é Professor Adjunto no curso de Engenharia Civil da Universidade de Brasília (UnB), onde leciona Mecânica dos Sólidos, Teoria das Estruturas e Projeto de Pontes. É membro do Comitê Brasileiro de Normalização Metroferroviário (CB-06) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e participou de 18 congressos e seminários científicos no Brasil e no exterior. Atua como revisor para revistas como a Revista IBRACON de Estruturas e Materiais (RIEM), Applied Mathematical Modelling e Frattura ed Integrità Strutturale. Tem experiência em Engenharia Civil com ênfase em Estruturas Metálicas, Ferrovias, Dinâmica, Estruturas de Concreto, Pontes, Problemas Inversos e BIM. É membro do IABMAS (International Association for Bridge Maintenance and Safety) e do IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto). É autor de artigos e periódicos científicos apresentados em congressos nacionais e internacionais.

**Ricardo Valeriano**

[eduardovalerianoalves@gmail.com](mailto:eduardovalerianoalves@gmail.com)

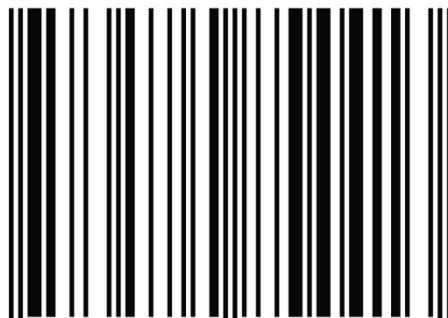
Professor associado da Escola Politécnica da UFRJ. Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (1985). Possui Mestrado (1989) e doutorado (1995) em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ no programa de Estruturas. Atuação em Mecânica das Estruturas, Pontes, Concreto Protendido e Estabilidade Elástica.

**Rodrigo Barros**  
[barrosrn@ufrn.edu.br](mailto:barrosrn@ufrn.edu.br)

Possui Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2006), Mestrado em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) pela Universidade de São Paulo (2009) e Doutorado em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) pela mesma instituição. Foi bolsista da CAPES e do CNPq durante o Mestrado e o Doutorado no Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos. Atualmente é Professor Adjunto IV da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Projetos de Estruturas e Projetos de Fundação. Foi professor do curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Araraquara, do curso de Especialização em Engenharia de Estruturas da UNILINS e do curso Especialização em Estruturas de Concreto e Fundações do INBEC - Instituto Brasileiro de Educação Continuada até o ano de 2013. Como pesquisador, atua principalmente nos seguintes temas: modelo de Bielas e Tirantes, Fundações, Bloco sobre estacas e Modelos de Cálculo para Força Cortante.

ISBN: 978-65-84854-41-3

**CR**



9 786584 854413