



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

SOLUÇÕES E

ANÁLISES

ESTRUTURAIS



EIXO 2

6

Pontes retas alargadas em concreto armado: a influência da resistência do concreto na distribuição de momento fletor devido à carga móvel

COSTA, Fernanda Karen Melo da

Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

FILHO, José Neres da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

BARROS, Rodrigo

Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MACIEL, Daniel Nelson

Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

NETO, Joel Araújo do Nascimento

Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Resumo: Esta pesquisa consiste na análise da distribuição de momento fletor, devido à carga móvel entre longarinas de pontes retas de concreto armado que passaram por um processo de alargamento da superestrutura. Sendo assim, foram desenvolvidos modelos analíticos de repartição de cargas em tabuleiros de pontes com base nos princípios do método de Leonhardt e modelos numéricos, via Método dos Elementos Finitos (MEF), com o auxílio do programa CSiBridge®, versão 21, a fim de analisar situações de pontes com diferentes números de longarinas e com concretos de diferentes resistências à compressão nas regiões de alargamento. Além disso, foi feita uma aplicação da proposta da AASHTO LRFD (2017) de repartição de cargas a fim de comparar seus resultados com os resultados dos modelos analíticos e numéricos. A partir dos modelos desenvolvidos, foi possível concluir que a distribuição de esforços entre longarinas de mesma geometria depende fundamentalmente da resistência do concreto na região de alargamento e que, quanto maior é a resistência do concreto no alargamento, mais esforços são absorvidos pelas longarinas de alargamento e menos pelas longarinas já existentes.

Palavras-chave: Análise Estrutural; Pontes em Concreto; Fator de distribuição de Cargas; MEF.

1. INTRODUÇÃO

As pontes e os viadutos são estruturas de significativa importância para o desenvolvimento econômico de um país ou região, uma vez que permitem fazer conexões entre localidades e transpor obstáculos naturais ou criados pelo homem. Além disso, essas estruturas exigem grande conhecimento científico para garantir a segurança no projeto, execução e também em casos de recuperação e/ou reforço e ampliações que visam atender às atuais condições de tráfego.

Com o passar dos anos, nota-se o aumento exponencial do tráfego rodoviário, ao mesmo tempo em que ocorrem alterações dos veículos que trafegam nas rodovias. Em consequência disso, muitas pontes antigas se tornaram ou podem se tornar estruturalmente inseguras e insuficientes para as demandas atuais, necessitando, portanto, de intervenções de recuperação, reforço e alargamento para se adequarem às cargas móveis atualmente exigidas em normas técnicas e aos novos gabaritos transversais das rodovias.

Entretanto, segundo Vitório & Barros (2012) e Vitório (2013), a literatura técnica sobre pontes aborda predominantemente o projeto e a construção de obras novas, de forma que a ampliação de pontes existentes ainda é pouco explorada. Acrescenta-se também que existem poucos estudos científicos envolvendo o comportamento estrutural e a distribuição de cargas móveis em tabuleiros de pontes e viadutos e, menos ainda, pesquisas referentes à distribuição de esforços internos em superestruturas com tabuleiros alargados e de rigidez variável.

Sendo assim, com o intuito de contribuir para o entendimento do comportamento estrutural de pontes alargadas, esta pesquisa se propôs a realizar um estudo de tabuleiros alargados de concreto armado e com múltiplas longarinas por meio da análise da distribuição de momentos fletores devido à carga móvel. Para tanto, foram desenvolvidos diversos modelos analíticos e numéricos de pontes retas com diferentes condições de alargamento, a fim de obter os esforços internos absorvidos pelas longarinas em cada situação e compreender como ocorrem as distribuições de cargas em tabuleiros alargados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ANÁLISE ESTRUTURAL DE PONTES

Na superestrutura de uma ponte em vigas, existem três elementos essenciais: as vigas longitudinais (vigas principais ou longarinas), as vigas transversais (vigas secundárias ou transversinas) e a laje (tabuleiro). De uma maneira geral, nas pontes em vigas, as longarinas se apoiam nos pilares, mas não transmitem momentos fletores, sendo comum a análise estrutural da superestrutura separadamente da mesoestrutura e considerando apoios indeformáveis.

A análise desse tipo de estrutura é bastante complexa, o que motivou o desenvolvimento de diversos métodos simplificados que analisam a superestrutura separadamente da mesoestrutura e infraestrutura. Como exemplo disso, têm-se os conhecidos “métodos dos coeficientes de repartição de cargas”, os quais quantificam a parcela de carga móvel que é atribuída a cada longarina e que, posteriormente, será combinada com as cargas permanentes obtidas por área de influência, possibilitando o seu dimensionamento separadamente dos demais elementos da ponte.

Fu & Wang (2015) afirmam que a análise estrutural de pontes pode considerar a superestrutura e a subestrutura (mesoestrutura e infraestrutura) acopladas em um só modelo. No entanto, quando os efeitos da subestrutura não são essenciais para toda a análise, como no caso de análises de terremotos ou elevados recalques de apoio, a superestrutura pode ser estudada separadamente.

A AASHTO LRFD (2017) categoriza a análise de superestruturas de pontes em métodos aproximados e métodos refinados de análise. Nesse contexto Fu & Wang (2015) dizem que uma superestrutura de uma ponte pode ser modelada e analisada por três formas distintas:

- a) Modelagem unidimensional (1D), determinada pela AASHTO LRFD (2017) como modelos de análise aproximada;
- b) Modelagem bidimensional (2D) em grelha ou utilizando métodos numéricos de disposição plana;
- c) Modelagem tridimensional (3D) utilizando métodos numéricos (geralmente o Método dos Elementos Finitos).

2.2. FATORES DE DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS EM PONTES COM MÚLTIPLAS LONGARINAS

De acordo com Cho *et al.* (2014), o conceito dos fatores de distribuição foi introduzido por Westergaard (1930) e por Newmark (1948), mas só foi incluído na AASHTO no início dos anos 90. Zokaie *et al.* (1991) desenvolveram formulações novas para diversos tipos de pontes retas, que são a essência dos fatores de distribuição de carga introduzidos na AASHTO LFRD (1994) e até hoje utilizados para projetos de pontes e viadutos. Os problemas observados com a metodologia excessivamente simplificada na especificação AASHTO LFRD levaram a um estudo do *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) 12-26, intitulado “Distribuição de Cargas Móveis em Pontes Rodoviárias”, a fim de desenvolver melhores métodos de distribuição de carga lateral na superestrutura das pontes. As recomendações do estudo para os fatores de distribuição das cargas móveis foram incorporadas na especificação AASHTO LRFD com pequenos ajustes e estão vigentes atualmente na AASHTO LRFD (2017), onde poderão ser encontradas as equações analíticas simplificadas, bem como suas limitações de aplicação.

Segundo Harris (2007), o fator de distribuição das cargas móveis pode ser determinado de várias maneiras, no entanto, a definição geral para o método é a relação entre a máxima resposta em um sistema global captado por um método refinado e a resposta máxima de um único membro captado por um método simplificado, onde ambos estão sujeitos ao mesmo carregamento.

Seguindo essa linha, Barker & Puckett (2013), definem que, de modo geral, o fator de distribuição de esforços internos consiste na relação entre o esforço interno de um ponto específico da ponte, geralmente um ponto crítico, determinado através de uma análise refinada (2D ou 3D), e o mesmo esforço interno obtido a partir de uma análise unidimensional (1D), ambos os modelos submetidos ao mesmo conjunto de cargas. Isto é, em uma ponte com múltiplas longarinas, por exemplo, pode-se obter os fatores de distribuição de esforços internos em cada longarina (FD) dividindo-se os esforços obtidos a partir de um modelo refinado ($Sd_{refinado}$) pelo esforço obtido a partir de um modelo unidimensional (Sd_{1D}) (Equação (1)). Neste caso, os fatores de distribuição corresponderiam à parcela do esforço total que é transmitida para cada longarina.

$$FD = \frac{Sd_{refinado}}{Sd_{1D}} \quad (1)$$

Para se obter os esforços nos elementos da superestrutura de uma ponte, pode-se optar pela utilização de algum método analítico para avaliar a distribuição de cargas móveis nos elementos da superestrutura. Vale salientar que na literatura nacional e internacional de pontes existem diversos procedimentos de cálculo que avaliam a distribuição de cargas em tabuleiros, tais como: o método de *Engesser-Courbon*, o método de *Leonhardt*, o método de *Guyon-Massonet-Bares* e o processo de *Fauchart*.

3. MODELOS E METODOLOGIA DE ESTUDO

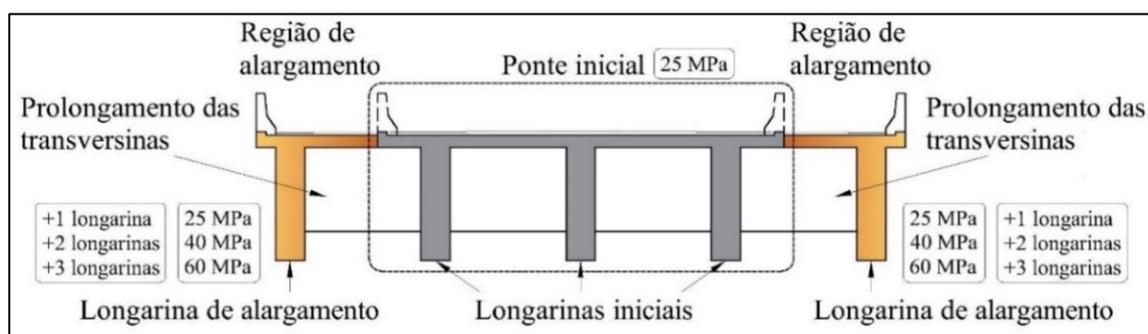
As pontes que serviram de base para esse estudo são pontes retas ortogonais isostáticas de concreto armado que passaram por um processo de alargamento. Tais pontes permitiram a obtenção de Fatores de Distribuição de Momentos Fletores (FDMF's) e a análise da influência da resistência à compressão do concreto da região de alargamento nesses fatores.

Dessa forma, para a obtenção dos dados, foram adotadas as seguintes situações hipotéticas (Figura 1):

1. Primeiramente, considerou-se que as pontes inicialmente construídas (antes do processo de alargamento) possuíam apenas três longarinas (V1, V2 e V3) e concreto de 25 MPa de resistência característica à compressão;
2. Em seguida, considerou-se que estas pontes sofreram um alargamento em ambas as extremidades da seção transversal, com o incremento de novas longarinas de mesma geometria das longarinas iniciais, aumento do comprimento das transversinas e sem qualquer tipo de reforço da estrutura já existente;
3. Para o número de longarinas, foram admitidas três situações distintas: (1) incremento de uma longarina em cada extremidade da seção transversal (denominadas "pontes com 5 longarinas"); (2) incremento de duas longarinas em cada extremidade da seção transversal (denominadas "pontes com 7 longarinas") e (3) incremento de três longarinas em cada extremidade da seção transversal (denominadas "pontes com 9 longarinas");

4. Para a resistência à compressão do concreto, foram adotados concretos na região de alargamento de 25 MPa, 40 MPa ou 60 MPa;
5. Considerou-se também que as pontes possuíam 9 transversinas intermediárias uniformemente espaçadas ao longo do vão da ponte.

FIGURA 1: ESQUEMA GERAL DOS MODELOS DE ESTUDO



Fonte: Autores.

A Tabela 1 exibe um resumo dos modelos desenvolvidos com a identificação de cada ponte analisada na pesquisa.

TABELA 1. RESUMO DOS MODELOS DESENVOLVIDOS

Grupo	Número de longarinas	Resistência à compressão do concreto na região de alargamento	Identificação da ponte*
G1	5	25 MPa	P5L9T25R
		40 MPa	P5L9T40R
		60 MPa	P5L9T60R
G2	7	25 MPa	P7L9T25R
		40 MPa	P7L9T40R
		60 MPa	P7L9T60R
G3	9	25 MPa	P9L9T25R
		40 MPa	P9L9T40R
		60 MPa	P9L9T60R

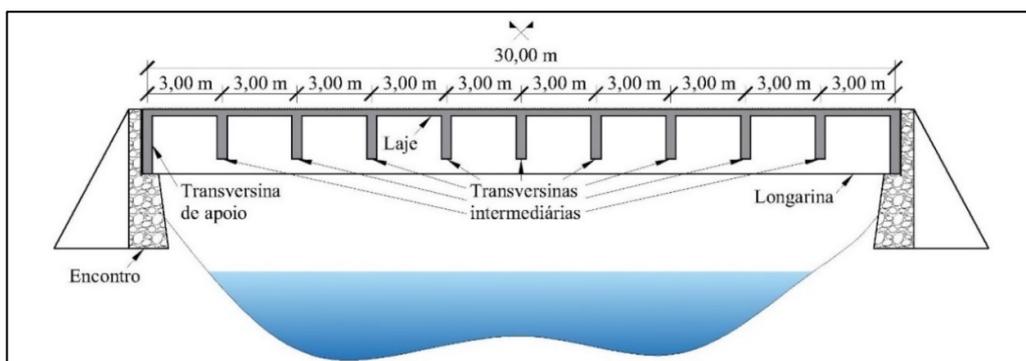
Fonte: Autores.

*A identificação de cada ponte especifica o número de longarinas, o número de transversinas intermediárias e a resistência à compressão do concreto da região de alargamento, nesta ordem. Exemplo: P5L9T25R: Ponte com 5 Longarinas, 9 Transversinas intermediárias e concreto de 25 MPa de Resistência na região de alargamento.

3.1. GEOMETRIA

A superestrutura das pontes desse estudo é composta por um tabuleiro sobre vigas retas de alma cheia apoiadas em encontros de extremidade, com um vão total de 30,00 m entre os eixos das transversinas de apoio e 9 transversinas intermediárias (Figura 2).

FIGURA 2:SEÇÃO LONGITUDINAL DAS PONTES



Fonte: Autores.

Quanto à geometria transversal, foi definido um espaçamento uniforme de 3,00 m entre os eixos das longarinas (Tabela 2). Para as longarinas foram determinadas uma largura de 0,60 m e altura de 2,60 m e as lajes do tabuleiro possuem espessura de 25 cm. As transversinas intermediárias foram solidarizadas com a laje do tabuleiro e possuem 0,40 m de largura e 2,00 m altura.

TABELA 2. GEOMETRIA DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DAS PONTES COM 5, 7 E 9 LONGARINAS

Pontes	Seção transversal	Distância entre eixos das longarinas (A)	Distância do balanço lateral (B)	Comprimento total (L)
P5L9T25R P5L9T40R P5L9T60R		3,00 m	0,70 m	13,40 m
P7L9T25R P7L9T40R P7L9T60R		3,00 m	1,70 m	21,40 m
P9L9T25R P9L9T40R P9L9T60R		3,00 m	1,30 m	26,60 m

Fonte: Autores.

3.2. MATERIAIS

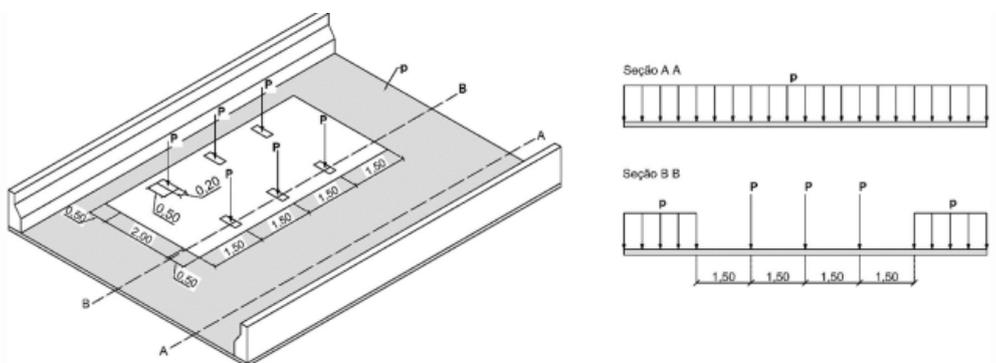
Todas as pontes-modelo deste estudo são de concreto armado moldado no local, com resistência à compressão de 25 MPa na região da ponte, inicialmente construída e 25MPa, 40 MPa ou 60 MPa na região de alargamento. Conforme recomendações da Norma Brasileira vigente, a NBR 6118 (ABNT, 2023), (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento), os módulos de elasticidade longitudinais secantes para os concretos de 25 MPa, 40 MPa e 60 MPa são 24 GPa, 32 GPa e 40 GPa, respectivamente, o coeficiente de Poisson é igual a 0,2 e a massa específica, 2.500 kg/m^3 .

As análises feitas nesse estudo foram realizadas em regime elástico linear, sendo válida a hipótese de pequenos deslocamentos. Desse modo, os modelos desenvolvidos, principalmente os modelos numéricos, não levaram em consideração a não-linearidade física do material e da fissuração, nem os efeitos da não-linearidade geométrica.

3.3. AÇÕES

Nesta pesquisa, considerou-se a atuação do veículo-tipo padrão TB-450 definido pela Norma Brasileira NBR 7188 (ABNT, 2024), (Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas). As características deste veículo são: peso total de 450 kN com seis rodas ($P = 75 \text{ kN}$) e três eixos de carga afastadas entre si em 1,50 m, com área de ocupação de $18,00 \text{ m}^2$ e circundada por uma carga uniforme distribuída constante de $p = 5,00 \text{ kN/m}^2$ (Figura 3).

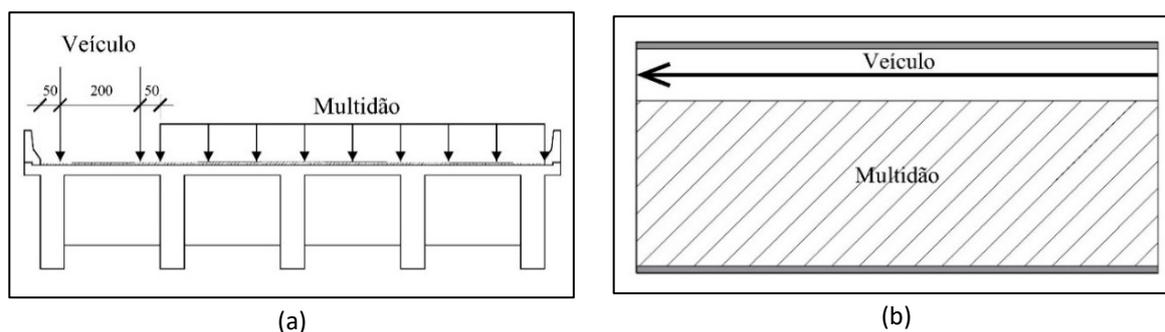
Figura 3: Disposição das cargas do veículo-tipo brasileiro NBR 7188 (Fonte: ABNT, 2024)



Fonte: Autores.

Para o cálculo dos Fatores de Distribuição de Momento Fletor (FDMF's), o carregamento móvel foi considerado com o veículo-tipo, representado pelas cargas pontuais "P", atravessando a ponte longitudinalmente em uma trajetória retilínea paralela ao seu eixo. O veículo foi posicionado na extremidade esquerda da seção transversal. Esta posição se justifica pelo fato da maioria das vezes concentrar maiores esforços em uma única longarina, a qual, nesses casos, é a longarina de extremidade V4, e, por isso, ser de grande importância para o projeto de pontes (Figura 4).

FIGURA 4: DISPOSIÇÃO DAS CARGAS DO VEÍCULO-TIPO BRASILEIRO: (A) VISTA FRONTAL E (B) VISTA SUPERIOR



Fonte: Autores.

3.4. OBTENÇÃO DOS RESULTADOS

A avaliação do alargamento de pontes de concreto armado foi feita por meio de dados de Fatores de Distribuição de Momento Fletor (FDMF's), os quais foram calculados apenas para as cargas móveis atuantes nos tabuleiros das pontes. Esses fatores de distribuição foram obtidos a partir dos modelos analíticos, utilizando o método de Leonhardt adaptado e a proposta da AASHTO LRFD (2017), e modelos numéricos, com o auxílio do *software* CSiBridge®, versão 21.

À exceção da proposta da AASHTO LRFD (2017), os cálculos dos FDMF's envolveram a relação entre o momento fletor no meio do vão de cada longarina ($M_{longarina}$) e o momento fletor total para toda a ponte (M_{total}^{1D}), também no meio do vão (Equação (2)).

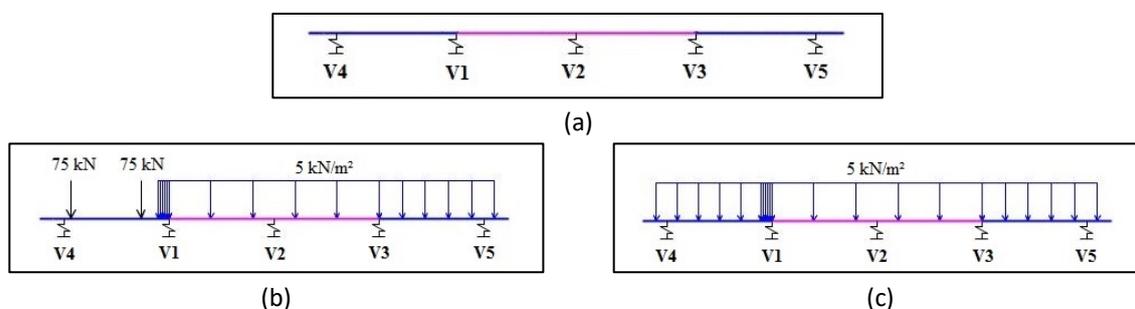
$$FDMF = \frac{M_{longarina}}{M_{total}^{1D}} \quad (2)$$

3.5. MODELOS ANALÍTICOS

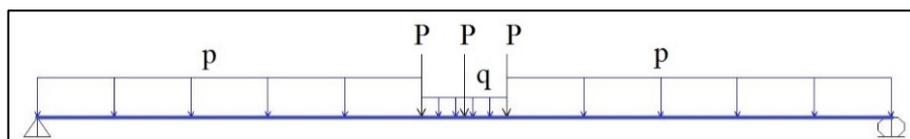
Os resultados analíticos de FDMF's foram obtidos por meio de uma adaptação do método analítico de Leonhardt desenvolvido entre 1938 e 1940 (Leonhardt & Andrä, 1950). O método de Leonhardt calcula os coeficientes de repartição de cargas a partir da aplicação de uma carga unitária sobre uma transversina fictícia (representando o conjunto de transversinas que fazem parte da ponte) que está apoiada no meio do vão das longarinas. Logo, para reproduzir esta situação, foram desenvolvidos modelos no software SAP2000®, versão 20, de elementos de barra sobre apoios elásticos com o objetivo de obter a repartição de cargas tomando como base os princípios do método de Leonhardt (Figura 5(a)). Nesses modelos, o elemento de barra representa a transversina fictícia, tendo sua rigidez equivalente à seção transversal das transversinas, à resistência à compressão do concreto e majorada por um fator igual a 2 para considerar a presença simultânea de 9 transversinas intermediárias nas pontes (San Martin, 1981). Por outro lado, os apoios elásticos representam as longarinas, sendo a constante de mola equivalente ao inverso da deformação elástica no meio do vão de uma viga biapoiada.

Com estes modelos, foram aplicados carregamentos correspondentes à uma seção transversal dentro (Figura 5(b)) e fora (Figura 5(c)) do veículo-tipo TB-450 a fim de se obter a parcela de carregamento absorvida por cada longarina (apoios elásticos). De posse das cargas absorvidas dentro e fora do veículo-tipo, foi possível montar o trem-tipo longitudinal de cada longarina individualmente (Figura 6), o qual permitiu a obtenção das envoltórias de momento fletor. Os modelos unidimensionais para o cálculo dos fatores de distribuição consideraram o carregamento móvel integralmente aplicado a uma barra longitudinal biapoiada.

FIGURA 5: APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DO MÉTODO DE LEONHARDT: (A) MODELO DE BARRA SOBRE APOIOS ELÁSTICOS, (B) CARREGAMENTO DENTRO DO VEÍCULO-TIPO E (C) CARREGAMENTO FORA DO VEÍCULO-TIPO



Fonte: Autores.

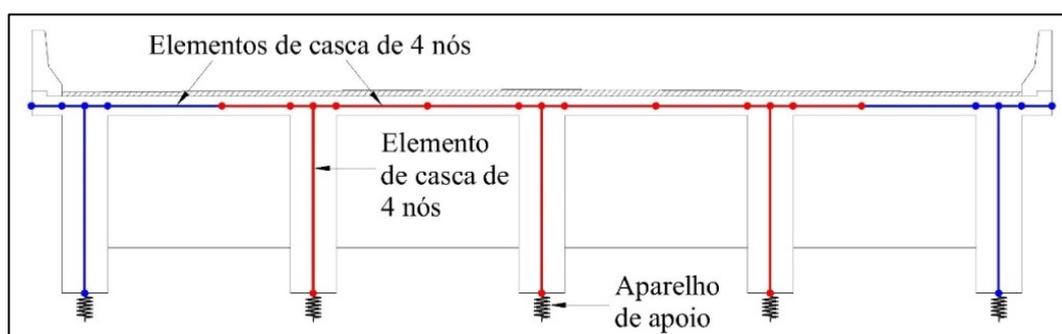
FIGURA 6: TREM-TIPO GENÉRICO LONGITUDINAL DE CADA LONGARINA

Fonte: Autores.

3.6. MODELOS NUMÉRICOS

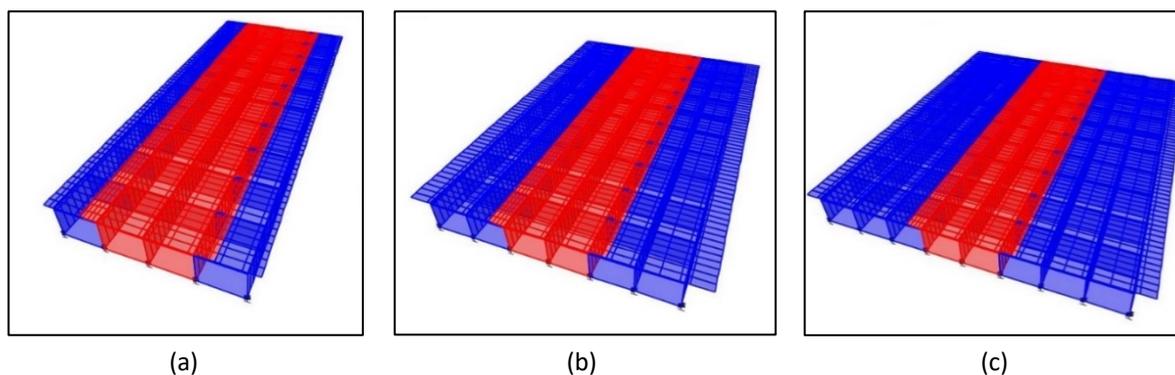
Os modelos numéricos foram desenvolvidos no programa computacional CSiBridge®, versão 21. Conforme Fu & Wang (2015), o nível de precisão da modelagem de pontes depende dos resultados que se deseja obter, sendo recomendada a criação de modelos tridimensionais com elementos bidimensionais. Desse modo, optou-se pela modelagem tridimensional via Método dos Elementos Finitos (MEF) com o uso de elementos bidimensionais, uma vez que esta forma permite uma boa precisão dos resultados e o *software* utilizado favorece esse tipo de modelagem. Além disso, diversos estudos mostram que essa metodologia fornece resultados bastante satisfatórios e próximos de valores medidos em campo (Nevling *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2007).

Os modelos desenvolvidos são constituídos por elementos de casca (*shell*) de 4 nós, os quais são elementos bidimensionais de área utilizados para a modelagem de placas e membranas em estruturas planas e tridimensionais (Figura 7 e Figura 8).

Figura 7:Esquema transversal da discretização da superestrutura das pontes

Fonte: Autores.

FIGURA 8: MODELOS NUMÉRICOS DESENVOLVIDOS NO CSIBRIDGE®, VERSÃO 21: (A) PONTE COM 5 LONGARINAS, (B) PONTE COM 7 LONGARINAS E (C) PONTE COM 9 LONGARINAS



Fonte: Autores.

O CSiBridge®, versão 21 realiza a discretização da malha de elementos finitos de forma que haja compatibilização entre as posições dos nós de cada casca e a transmissão de tensões através deles. Durante o desenvolvimento dos modelos, foram avaliadas as condições de contorno e a análise dos elementos finitos, optando-se por manter ao longo do comprimento das pontes uma malha com dimensão fixa de elementos finitos de 0,50 m, enquanto, na direção transversal, a máxima dimensão definida foi de 1,20 m.

A determinação dos fatores de distribuição de esforços a partir dos modelos numéricos desenvolvidos no CSiBridge®, versão 21 foi feita pela relação entre o momento fletor máximo das envoltórias de cada longarina e o momento fletor total atuante na ponte. O esforço total foi obtido a partir de uma modelagem da ponte como uma viga equivalente biapoiada, também denominado *spine model*, que suporta o conjunto de carregamentos aplicados à superestrutura.

3.7. PROPOSTA DA AASHTO LRFD (2017)

As formulações obtidas pela NCHRP 12-26 são funções do tipo de ponte, da posição da longarina (interna ou externa), do número de faixas carregadas e do esforço a ser analisado (esforço cortante ou momento fletor). A AASHTO LRFD (2017) traz 12 tipos diferentes de pontes representativas, das quais foi utilizada nesta pesquisa a ponte com longarinas e laje com uma faixa carregada.

Para o cálculo do LLDF's (*Live Load Distribution Factors*) dos momentos fletores das longarinas internas, a AASHTO LRFD (2017) considera a seguinte formulação (Equação (3)):

$$LLDF = 0,06 + \left(\frac{S}{14}\right)^{0,4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0,3} \left(\frac{K_g}{12Lt_s^3}\right)^{0,1} \quad (3)$$

Nas longarinas externas, os fatores obtidos para as longarinas internas são corrigidos por um fator que depende da distância horizontal entre o centro de gravidade da longarina externa e a face interna no guarda-corpo (d_e), em ft. Para o caso de uma faixa carregada, utiliza-se a “regra da alavanca”, a qual consiste em somar os momentos em torno de uma longarina para encontrar a reação em outra longarina, assumindo que a laje é articulada nos suportes internos.

A AASHTO LRFD (2017) também especifica a utilização de fatores de múltipla presença para considerar a improbabilidade de que todas as faixas da ponte estejam totalmente carregadas com caminhões simultaneamente. No caso de uma faixa carregada, este fator deve ser igual a 1,20 e deve ser aplicado apenas no cálculo dos LLDF’s das longarinas externas, uma vez que este fator já está incluído na formulação dos LLDF’s das longarinas internas.

É importante destacar que a proposta da AASHTO LRFD (2017) não prevê a presença ou não de transversinas intermediárias nas pontes. Além disso, esse método não permite avaliar os efeitos do alargamento das pontes com o concreto de resistência distinta do concreto da ponte original. Assim, diante destas limitações, os cálculos realizados foram aplicáveis apenas para os modelos P5L9T25R, P7L9T25R e P9L9T25R, uma vez que nestes modelos o concreto de alargamento é igual ao concreto da ponte inicial com 3 longarinas (sem alargamento).

Após a realização dos cálculos necessários, obteve-se, então, os seguintes valores de LLDF’s (Tabela 3):

TABELA 3. LLDF’S CALCULADOS PARA AS PONTES COM 5, 7 E 9 LONGARINAS

Ponte	LLDF longarinas internas	LLDF longarinas externas
P5L9T25R	0,585	1,115
P7L9T25R	0,585	1,515
P9L9T25R	0,585	1,355

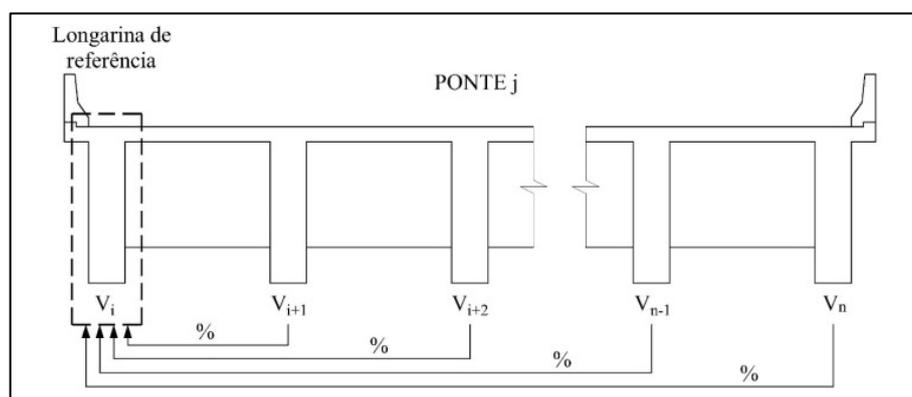
Fonte: Autores.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta pesquisa compreende análises da influência da resistência do concreto da região de alargamento na distribuição do momento fletor devido à carga móvel. Para isso, foram calculadas diferenças percentuais entre os FDMF's dos modelos produzidos de duas formas distintas: (1) para a **análise global** e (2) para a **análise local**.

Na **análise global** o valor percentual de acréscimo ou decréscimo de esforço devido à carga móvel é captado pelas longarinas $V_{i+1}^j, V_{i+2}^j, \dots, V_{n-1}^j, V_n^j$ quando comparadas com a longarina V_i^j (longarina de referência i da ponte j) (Figura 9), em que i é o índice que representa cada longarina, j é o índice que representa cada ponte e n é o número de longarinas de cada ponte. Portanto, é calculada a diferença percentual entre o Fator de Distribuição de cada longarina de uma determinada ponte e o Fator de Distribuição da longarina da extremidade esquerda da mesma ponte (longarina de referência). Neste caso, a longarina de referência de todos os modelos sempre é a da extremidade esquerda, denominada "V4".

FIGURA 9: METODOLOGIA DA ANÁLISE GLOBAL

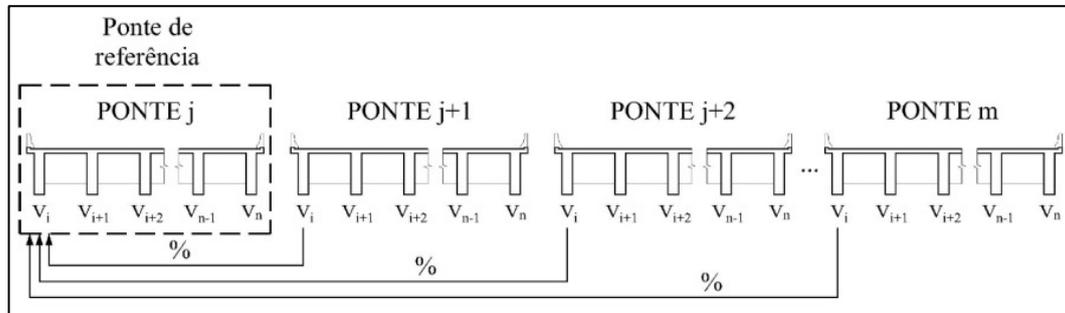


Fonte: Autores.

Na análise local o valor percentual de acréscimo ou decréscimo de esforço devido à carga móvel é captado pelas longarinas $V_i^{j+1}, V_i^{j+2}, \dots, V_i^m$ quando comparadas com a longarina V_i^j (longarina i da ponte de referência j) (Figura 10), em que i é o índice que representa cada longarina, j é o índice que representa cada ponte e m é o número de pontes que fazem parte da análise local. Portanto é calculada a diferença percentual entre o Fator de Distribuição de cada longarina de uma determinada ponte e o Fator de Distribuição da mesma longarina de

uma ponte distinta (ponte de referência), a qual sempre é a ponte que foi alargada com concreto de 25 MPa de resistência à compressão.

FIGURA 10: METODOLOGIA DA ANÁLISE LOCAL



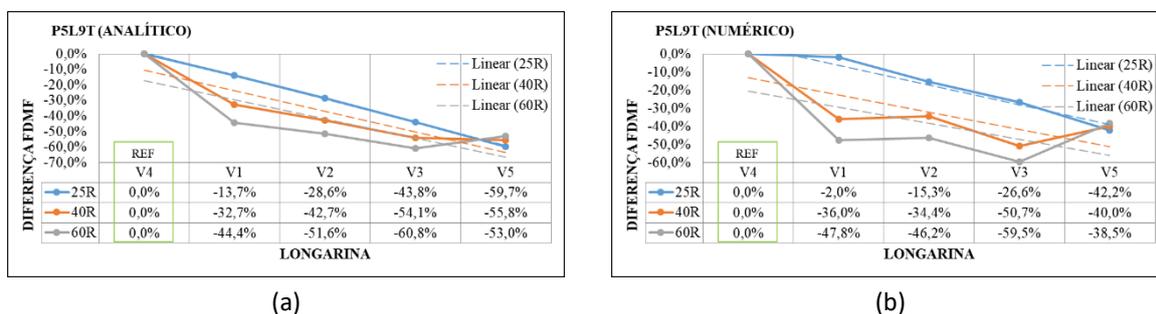
Fonte: Autores.

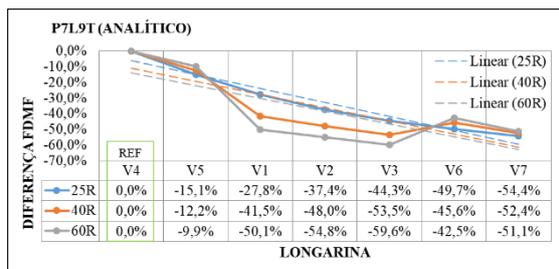
Quanto às diferenças percentuais calculadas, quando estas resultam em um valor positivo, significa dizer que houve acréscimo do Fator de Distribuição do esforço de uma determinada longarina em relação à longarina de referência. Já quando essa diferença percentual é negativa, significa que houve decréscimo do Fator de Distribuição de uma determinada longarina em relação à longarina de referência.

4.1. ANÁLISE GLOBAL DOS FATORES DE DISTRIBUIÇÃO DE MOMENTOS FLETORES

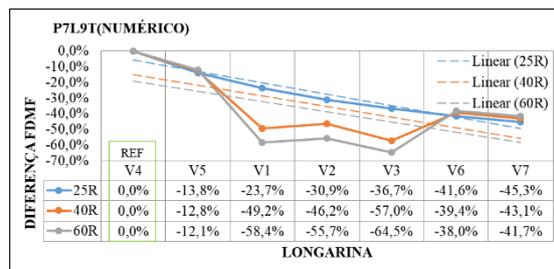
A Figura 11 mostra os resultados da análise global dos FDMF's em gráficos de linha e as linhas de tendência lineares correspondentes aos dados obtidos para cada ponte.

FIGURA 11: GRÁFICOS DE ANÁLISE GLOBAL DOS FDMF'S

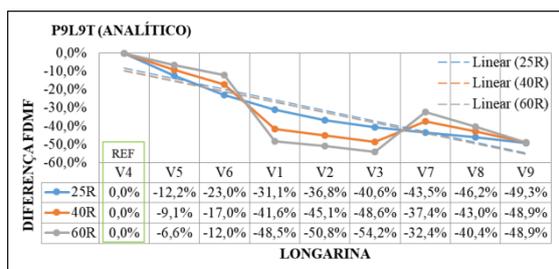




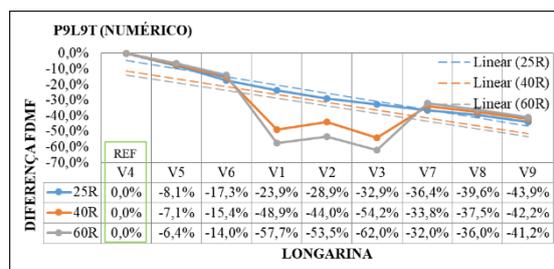
(c)



(d)



(e)



(f)

Fonte: Autores.

Em geral, observa-se que todas as longarinas das pontes apresentaram diferenças percentuais negativas em relação à longarina de referência V4. Isso significa que para a condição de carregamento imposta, a longarina V4 foi responsável por absorver maiores momentos fletores do que as demais, o que muitas vezes a torna importante para o dimensionamento e projeto de pontes.

Nas pontes com 5 longarinas (Figura 11(a) e 11(b)), constata-se que quando o alargamento da ponte é feito com o concreto de 25 MPa, isto é, com a mesma resistência à compressão do concreto da ponte inicial, as diferenças percentuais globais dos FDMF's tendem a variar linearmente ao longo da seção transversal dos modelos analíticos. Isso pode ser notado pela quase sobreposição do gráfico de diferença percentual para os modelos "25R" e a linha de tendência linear obtida a partir dos resultados. Verifica-se, portanto, que os momentos fletores em cada longarina são cada vez menores à medida que são mais distantes da longarina de referência (V4). Nos modelos numéricos (Figura 11(b)), essa variação linear é menos precisa do que nos modelos analíticos (Figura 11(a)), mas, ainda assim, ocorre com boa aproximação.

Já nas pontes com 7 e 9 longarinas (Figura 11(c), 11(d), 11(e) e 11(f)), os dados mostram que, diferentemente do que ocorre nos modelos de pontes com 5 longarinas, o alargamento com concreto de resistência à compressão de 25 MPa provoca diferenças percentuais globais de

FDMF's que não tendem a seguir uma variação linear ao longo da seção transversal. Nesses casos, observa-se que os resultados seguem uma trajetória similar a uma parábola, tanto para os modelos analíticos como para os modelos numéricos.

Nos modelos de alargamento com concreto de 40 MPa e 60 MPa, observa-se, de modo geral, que as longarinas iniciais (V1, V2 e V3) sofrem maiores decréscimos de FDMF's do que as mesmas longarinas das pontes de alargamento com concreto de 25 MPa. Em contrapartida, nas longarinas de alargamento (V5, V6, V7, V8 e V9), os decréscimos são menores nas pontes com concreto de 40 MPa e 60 MPa na região de alargamento. Isto é, percebe-se que quanto maior é a resistência do concreto na região de alargamento, menores são as diferenças percentuais globais, em módulo, nas longarinas de alargamento e maiores são essas diferenças, em módulo, nas longarinas iniciais.

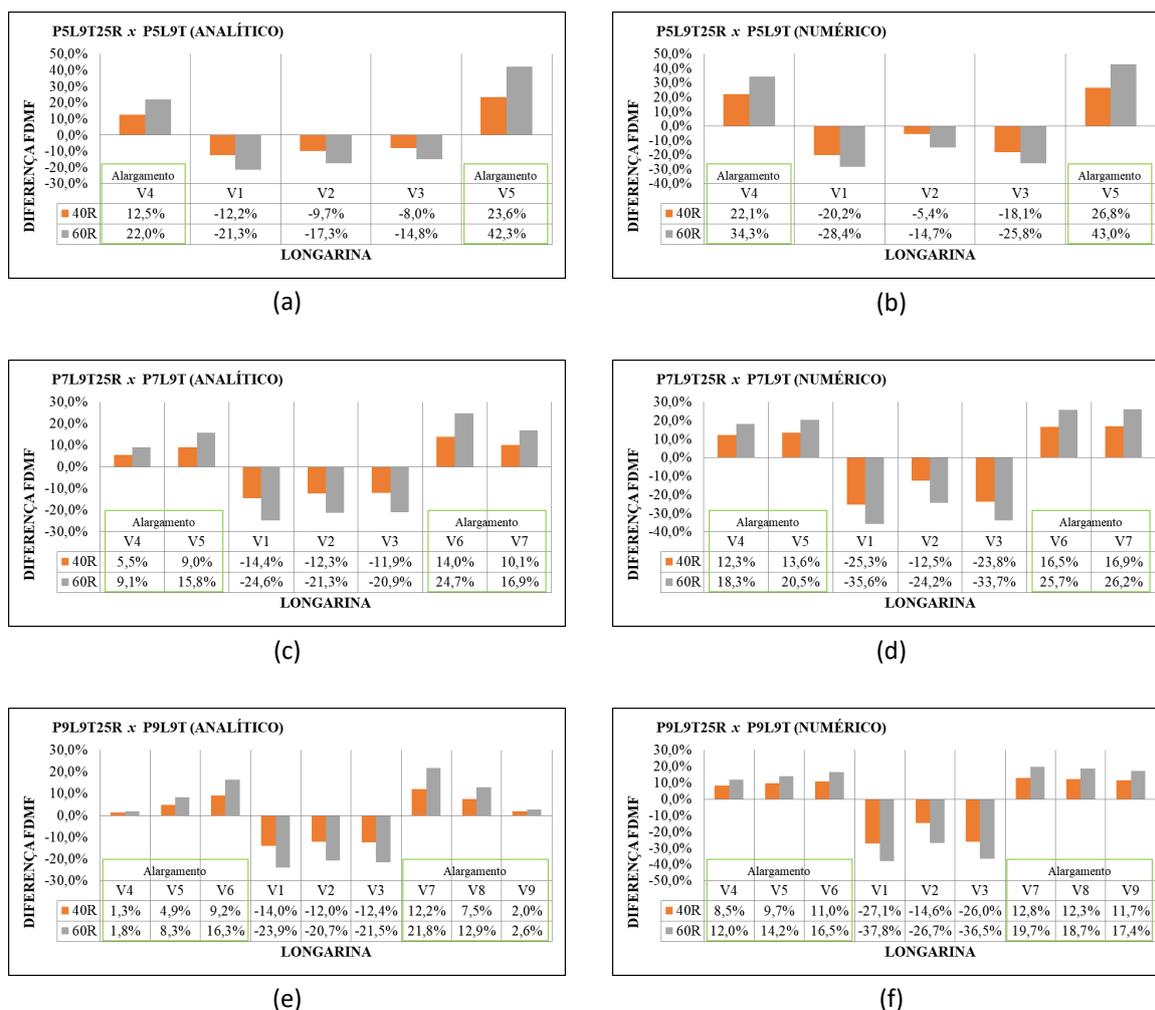
Apesar dessas distinções, nota-se que as diferenças percentuais globais em cada longarina de alargamento são bastante similares para diferentes resistências do concreto. Essa similaridade é mais notória nas longarinas de extremidade, em que as diferenças percentuais encontradas foram de -59,7% a -53,0% (analítico, Figura 11(a)) e de -42,2% a -38,5% (numérico, Figura 11(b)) na longarina V5 das pontes com 5 longarinas, de -54,4% a -51,1% (analítico, Figura 11(c)) e de -45,3% a -41,7% (numérico, Figura 11(d)) na longarina V7 das pontes com 7 longarinas e de -49,3% a -48,9% (analítico, Figura 11(e)) e de -43,9% a -41,2% (numérico, Figura 11(f)) na longarina V9 das pontes com 9 longarinas.

Por fim, as linhas de tendência lineares traçadas para cada gráfico mostram que, para um alargamento com concreto de 40 MPa e 60 MPa, as diferenças percentuais das longarinas iniciais (V1, V2 e V3) ficam sempre abaixo das respectivas linhas de tendência, enquanto nas longarinas de alargamento (V4 a V9), as diferenças percentuais globais estão sempre acima. Isto pode ser considerado como um dos indícios de que quando as longarinas de alargamento são executadas com um concreto de resistência superior à resistência do concreto da ponte inicial, a capacidade de absorção de momento fletor tende a ser maior, uma vez que as rigidezes das novas longarinas são superiores às rigidezes das longarinas iniciais.

4.2. ANÁLISE LOCAL DOS FATORES DE DISTRIBUIÇÃO DE MOMENTOS FLETORES

A Figura 12 mostra os resultados da análise local dos FDMF's em gráficos de coluna. Cada gráfico mostra o percentual de acréscimo ou decréscimo de FDMF's de uma determinada longarina em relação à mesma longarina da ponte de alargamento com concreto de 25 MPa.

FIGURA 12. GRÁFICOS DE ANÁLISE LOCAL DOS FDMF'S



Fonte: Autores.

Nota-se, que as longarinas iniciais (V1, V2 e V3) de todos os modelos apresentam decréscimos de FDMF's para as pontes de alargamento com concreto de 40 MPa e 60 MPa em relação à ponte com alargamento de 25 MPa. Ao mesmo tempo, observa-se que nas longarinas de alargamento (V4 a V9) ocorrem acréscimos de FDMF's nessas mesmas condições. Diante deste fenômeno, verifica-se, portanto, que há uma redistribuição de esforços com a mudança de resistência à compressão do concreto na região de alargamento, fazendo com que as longarinas de alargamento captem maiores esforços à medida que ocorrem perdas nas

longarinas iniciais. Esses resultados corroboram com os obtidos por Vitório & Barros (2012) que observaram, a partir de modelos numéricos em pontes em concreto protendido, que o alargamento das pontes com o incremento de novas longarinas resultou em redução de momentos fletores nas longarinas já existentes.

Os valores de diferenças percentuais locais obtidos e os gráficos de análise local dos FDMF's mostram que, quando o alargamento da ponte é feito com um concreto de resistência de 60 MPa, os acréscimos de FDMF's nas longarinas de alargamento (V4 a V9) são sempre maiores que os acréscimos nessas mesmas longarinas para um alargamento com concreto de 40 MPa. Enquanto isso, nas longarinas já existentes (V1, V2 e V3), os decréscimos são sempre maiores quando o alargamento é feito com um concreto de 60 MPa em comparação ao alargamento com concreto de 40 MPa.

Observa-se que nas longarinas de alargamento (V4 a V9) das pontes com 7 e 9 longarinas (Fig. 12(c), 12(d), 12(e) e 12(f)) há uma tendência de que, quanto mais próxima a longarina estiver das longarinas iniciais (V1, V2 e V3), maiores são os acréscimos do FDMF's.

Outro fato pouco perceptível, mas que também pode ser destacado é o comportamento das longarinas iniciais (V1, V2 e V3). Nessas longarinas, observa-se que a longarina central (V2) apresenta menores decréscimos de FDMF do que as longarinas vizinhas (V1 e V3) na maioria dos modelos. Os casos particulares em que isso não ocorre são os modelos analíticos das pontes com 5 longarinas (Figura 11(a)) e 7 longarinas (Figura 11(c)), em que a longarina V2 resultou em decréscimos maiores do que a longarina V3 e menores do que a longarina V1.

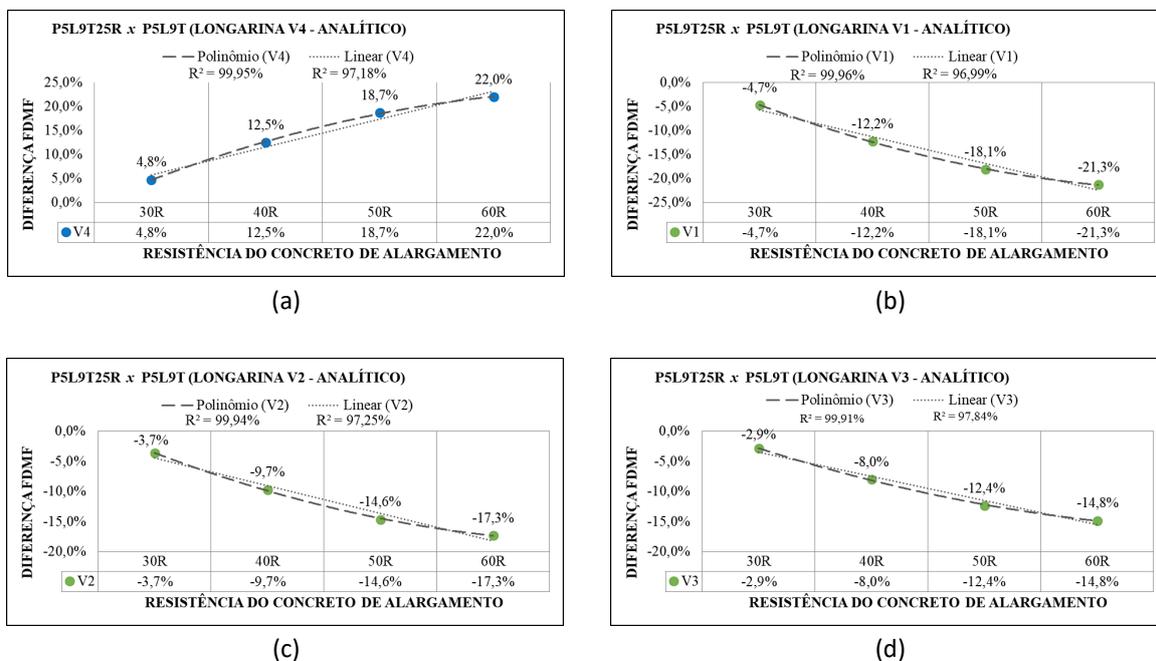
Esses dois comportamentos típicos apresentados anteriormente (maiores acréscimos de FDMF's nas longarinas próximas às longarinas iniciais e maiores decréscimos de FDMF's nas longarinas V1 e V3), mostram que as variações de FDMF's em relação à ponte com alargamento de 25 MPa ocorrem com maior intensidade nas longarinas que estão mais próximas à região de encontro de concretos com resistência à compressão distintas. Isto é, esses resultados sugerem que as parcelas de momentos fletores que deixaram de ser absorvidas pelas longarinas iniciais (em função de um alargamento com concreto de 25 MPa) e passaram a ser captadas pelas longarinas de alargamento com maior resistência (40 MPa ou 60 MPa) são mais absorvidas pelas longarinas que estão mais próximas às longarinas iniciais e menos pelas longarinas mais afastadas. Por outro lado, as longarinas iniciais que

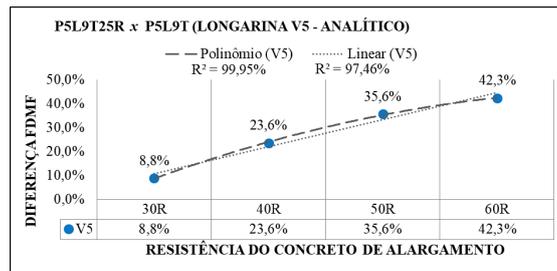
estão mais próximas à região de alargamento (V1 e V3) perdem mais momentos fletores do que a longarina central (V2).

A fim de investigar e entender o comportamento de acréscimos de FDMF's nas longarinas de alargamento e decréscimos de FDMF's nas longarinas iniciais, foram elaborados novos modelos analíticos e numéricos para as pontes com 5 longarinas e com concreto de alargamento de 30 MPa e 50 MPa. Para esses modelos, também foram calculados os FDMF's para o caso de carregamento mostrado na Figura 4 e obtidas as respectivas diferenças percentuais em relação à ponte de referência com alargamento com concreto de 25 MPa. Os módulos de elasticidade longitudinal calculados para os concretos de 30 MPa e 50 MPa foram, respectivamente, 27 GPa e 37 GPa.

As Figura 13 e 14 mostram em gráficos o conjunto de resultados de diferenças percentuais calculadas para as pontes com 5 longarinas com alargamento de 30 MPa, 40 MPa, 50 MPa e 60 MPa em relação aos modelos de pontes com alargamento de 25 MPa, respectivamente para os modelos analíticos (Figura 13) e numéricos (Figura 14). Cada gráfico exibe os resultados para cada longarina individualmente.

FIGURA 12: GRÁFICOS DE ANÁLISE LOCAL DOS FDMF'S DOS MODELOS ANALÍTICOS DE PONTES COM 5 LONGARINAS PARA ALARGAMENTO COM CONCRETO DE 30 MPa, 40 MPa, 50 MPa E 60 MPa

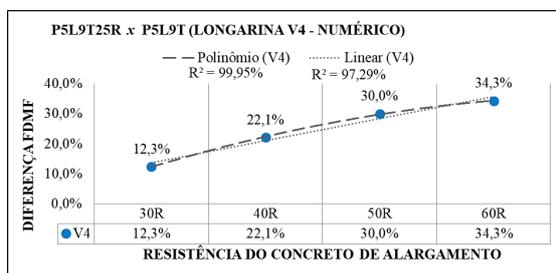




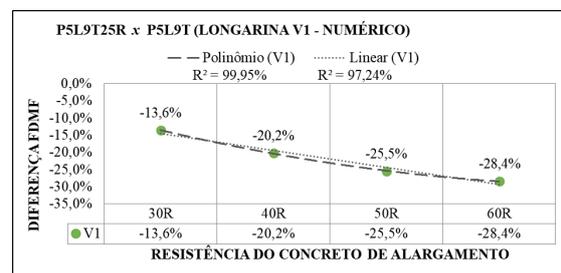
(e)

Fonte: Autores.

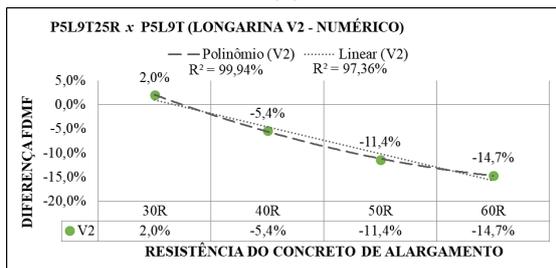
FIGURA 13: GRÁFICOS DE ANÁLISE LOCAL DOS FDMF'S DOS MODELOS NUMÉRICOS DE PONTES COM 5 LONGARINAS PARA ALARGAMENTO COM CONCRETO DE 30 MPA, 40 MPA, 50 MPA E 60 MPA



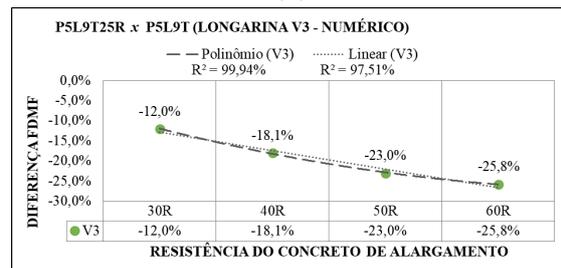
(a)



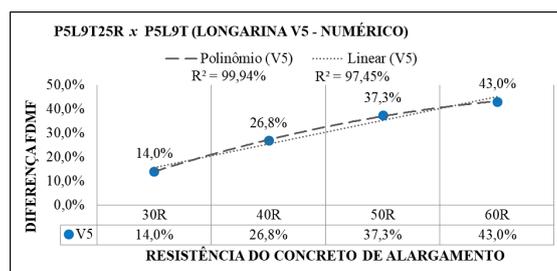
(b)



(c)



(d)



(e)

Fonte: Autores.

Nota-se que, tanto nos modelos analíticos como nos modelos numéricos, nas longarinas de alargamento (V4 e V5), quanto maior é a resistência do concreto de alargamento, maior é o acréscimo do FDMF em relação à ponte de referência (ponte com alargamento de 25 MPa). Por outro lado, nas longarinas iniciais (V1, V2 e V3), quanto maior é a resistência do concreto de alargamento, maiores são os decréscimos de FDMF's em comparação com a ponte de referência.

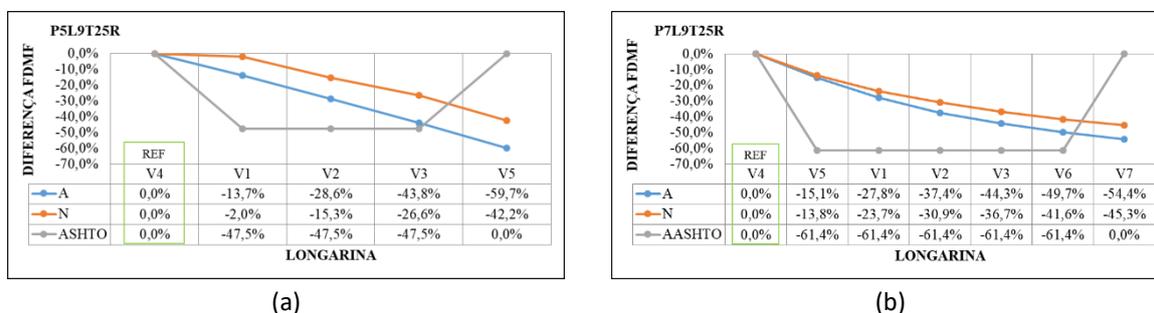
Em cada gráfico é possível observar que, a partir dos dados obtidos, foi possível traçar linhas de tendência do tipo polinomial de 2ª ordem e linear para os acréscimos ou decréscimos de diferença percentual de cada longarina individualmente. Constata-se, então, que para o concreto de alargamento de 30 MPa, 40 MPa, 50 MPa e 60 MPa os acréscimos e decréscimos de FDMF's para cada longarina seguem com boa aproximação tanto uma função do tipo linear como uma função do tipo polinomial de 2ª ordem. Os resultados apresentam de 97% a 98% de aproximação para uma função linear, enquanto que para uma função polinomial, os resultados obtidos apresentam uma aproximação de mais de 99%.

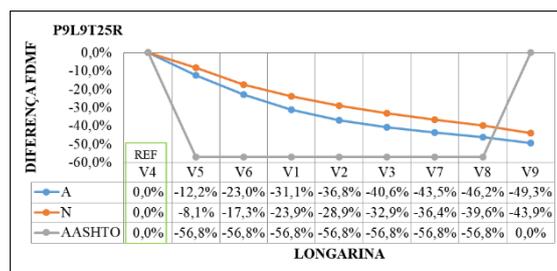
Em particular para a longarina V2 dos modelos numéricos (Figura 14(c)), nota-se que para um alargamento com concreto de 30 MPa, houve um acréscimo de 2,0% do FDMF em relação à ponte com alargamento de 25 MPa. Ainda assim, verifica-se que o padrão de comportamento das longarinas iniciais se mantém: redução do FDMF à medida que o concreto da região de alargamento aumenta.

4.3. COMPARATIVO DAS ANÁLISES GLOBAIS DOS MODELOS ANALÍTICOS, DA PROPOSTA DA AASHTO E DOS MODELOS NUMÉRICOS

A Figura 15 mostra os resultados das diferenças percentuais globais das pontes com 5, 7 e 9 longarinas e com alargamento de 25 MPa. Em cada gráfico, os dados de cada método de análise (analítico, numérico e proposta da AASHTO LRFD (2017)) estão agrupados conforme o número de longarinas.

FIGURA 14. GRÁFICOS DE ANÁLISE GLOBAL PARA A COMPARAÇÃO DOS MODELOS ANALÍTICOS, DA PROPOSTA DA AASHTO LRFD (2017) E DOS MODELOS NUMÉRICOS





(c)

Fonte: Autores.

Observa-se que, apesar de algumas distinções, os gráficos de diferenças percentuais globais para os modelos analíticos e o modelo numérico apresentam tendência de comportamento similar, considerando a mesma resistência à compressão do concreto na região de alargamento e o mesmo número de transversinas intermediárias.

No entanto, para os resultados obtidos a partir da proposta da AASHTO LRFD (2017), nota-se que as diferenças percentuais são sempre as mesmas para as longarinas V1, V2 e V3 e iguais a 0,0% para a longarina externas. Esses resultados já eram esperados, uma vez que a metodologia da AASHTO LRFD (2017) diferencia apenas o cálculo de longarinas internas e longarinas externas, resultando em um fator único para as longarinas internas e outro fator distinto para as externas.

Ainda assim, percebe-se que a proposta da AASHTO LRFD (2017) considera que as longarinas externas são de maior importância para a superestrutura das pontes e são responsáveis por absorver mais momentos fletores, pois seus LLDF's foram maiores do que das longarinas internas. Este fato se correlaciona com os resultados dos modelos analíticos e dos modelos numéricos, uma vez que, nestes casos, a longarina mais externa da ponte (V4) apresentou FDMF maior do que as demais.

Comparando os modelos analíticos e numéricos entre si, nota-se que as maiores variações entre as diferenças percentuais foram de 17,5% (longarina V5), 9,0% (longarina V7) e 7,9% (longarina V2) das pontes com 5, 7 e 9 longarinas, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

Considerando as situações analisadas nesta pesquisa, os dados e as análises apresentados neste estudo permitiram concluir que, quando o alargamento das pontes foi feito com um concreto de mesma resistência à compressão do concreto da ponte inicial, os fatores de

distribuição de momentos fletores geraram diferenças percentuais globais que variaram continuamente ao longo da seção transversal das pontes, seguindo uma trajetória linear ou similar a uma parábola. Por outro lado, quando a resistência do concreto na região de alargamento foi maior do que da ponte inicial, as diferenças percentuais dos FDMF's geraram gráficos de linha com descontinuidades na região entre as longarinas de alargamento e as longarinas iniciais. Isso indica que pontes que são alargadas com concreto de resistência distinta da resistência da ponte inicial provocam distribuição de momentos com pouca regularidade entre as longarinas, uma vez que a estrutura apresenta diferenças de rigidez ao longo de sua extensão.

Essa distribuição de esforços ocorreu em função da resistência à compressão do concreto na região de alargamento. Quando as pontes constituídas de concretos de diferentes resistências foram comparadas com as pontes que possuíam a mesma resistência à compressão em toda a sua extensão, observou-se que as longarinas iniciais (de menor resistência) captaram menos momentos fletores, enquanto as longarinas de alargamento (de maior resistência) passaram a absorver esforços maiores. Logo, pode-se concluir que os momentos foram redistribuídos entre as longarinas em decorrência das diferentes resistências à compressão dos concretos. Além disso, destaca-se que as longarinas que mais arcaram com os efeitos dessa redistribuição foram as longarinas mais próximas à região de encontro da ponte inicial e o alargamento. Isto é, quanto mais próxima a longarina de alargamento estava das longarinas iniciais, mais esforços eram absorvidos por ela, ao mesmo tempo em que as longarinas iniciais mais próximas das longarinas de alargamento sofriam com maiores decréscimos de esforços.

Constatou-se também que quanto maior é a resistência à compressão do concreto na região de alargamento, maiores são os acréscimos de esforços nas longarinas de alargamento e maiores são os decréscimos nas longarinas iniciais. A partir dos estudos feitos para as pontes com alargamento com concreto de 30 MPa, 40 MPa, 50 MPa e 60 MPa em comparação com as pontes de 25 MPa, observou-se que esses acréscimos e decréscimos seguem com bastante aproximação funções do tipo lineares e, principalmente, funções do tipo polinomial de 2ª ordem, com valores de aproximação dos dados de mais de 97% para a maioria dos casos.

Por fim, quanto aos resultados obtidos a partir da proposta da AASHTO LRFD (2017), destaca-se que as limitações desta metodologia não permitiram avaliar os casos de pontes com alargamento de 40 MPa e 60 MPa, uma vez que a norma americana não considera a variação da rigidez ao longo da seção transversal das pontes. Ainda assim, observou-se que a proposta da AASHTO LRFD (2017) considera que as longarinas das extremidades da seção transversal são responsáveis pela maior absorção de momentos fletores e, portanto, tornam-se fundamentais para o dimensionamento estrutural das longarinas. Este fato se correlacionou com os resultados dos modelos analítico e numérico, uma vez que, nestes casos, a longarina mais externa na ponte (V4) apresentou fatores de distribuição de esforços maiores do que as demais longarinas.

BIBLIOGRAFIA

AASHTO (2017), **Bridge Design Specifications, 8 ed., American Association Of State Highway And Transportation Officials**; Washington, D.C., EUA.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (2023), **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, 3 ed., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (2024), **ABNT NBR 7188**: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas, 2 ed., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.

Barker, R. M.; Puckett, J. A. (2013), **Design of Highway Bridges: an LRFD approach**, 3. ed., John Wiley & Sons, Hoboken, Nova Jersey, EUA.

Cho, D.; Park, S.; Hong, S. (2014), **“Evaluation of Girder Distribution Factor in PSC Girder Bridge with Curved Concrete Slab Based on AASHTO Specifications”**, Arab Journal of Science Engineering, Volume 39, 7635-7646.

Fu, C. C.; Wang, S. (2015), **Computational Analysis and Design of Bridge Structures**, CRC Press, Boca Raton, Flórida, EUA.

Harris, D. K. (2007), **“Lateral Load Distribution and Deck Design Recommendations for the Sandwich Plate System (SPS) in Bridge Applications”**, Doctoral Dissertation, Virginia Tech, Blacksburg, EUA.

Kim, W.S.; Laman, J.A.; Linzell, D.G. (2007), **“Live Load Radial Moment Distribution for Horizontally Curved Bridges”**, Journal of Bridge Engineering, Volume 12, n. 6, 727-736.

Leonhardt, F. (1950), **Die Vereinfachte Trägerrostberechnung, Julius Hoffmann**, Stuttgart, Germany.

Nevling, D.; Linzell, D.; Laman, J. (2006), **“Examination of Level of Analysis Accuracy for Curved I-Girder Bridges through Comparisons to Field Data”**, Journal of Bridge Engineering, Volume 11, n. 2, 160-168.

San Martin, F. J. (1981), **Cálculo de tabuleiros de pontes**, Livraria Ciência e Tecnologia, São Paulo, São Paulo, Brasil.

Vitório, J. A. P.; Barros. R. M. M. C. (2012), **“Análise paramétrica de projetos de alargamento e reforço de pontes rodoviárias de concreto armado”**, XXXV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Rio de Janeiro, Setembro.

Vitório, J. A. P. (2013), **“Um Estudo Comparativo sobre Métodos de Alargamento de Pontes Rodoviárias de Concreto Armado: com a utilização das normas brasileiras e Eurocódigos”**, Tese (Doutorado), Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Zokaie, T.; Osterkamp, T.A.; Imbsen, R.A. (1991), **“Distribution of Wheel Loads on Highway Bridges”**, National Cooperative Highway Research Program, Report 12-26.

SÍMBOLOS

A	Área da viga isolada (in ²);
E_B	Módulo de elasticidade longitudinal do material da viga (ksi);
E_D	Módulo de elasticidade longitudinal do material do tabuleiro (ksi);
e_g	Distância vertical entre os centros de gravidade da viga e do tabuleiro (in).
I	Momento de inércia da viga isolada (in ⁴);
$K_g = n(I + Ae_g^2)$	Parâmetro de rigidez longitudinal (in ⁴);
L	Comprimento do vão (ft);
N_b	Número de vigas;
$n = E_B/E_D$	
S	Espaçamento entre as longarinas (ft);
t_s	Espessura do tabuleiro (in).

RESUMO SOBRE OS



AUTORES

Daniel Nelson Maciel

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 m² 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

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

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

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

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

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

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

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

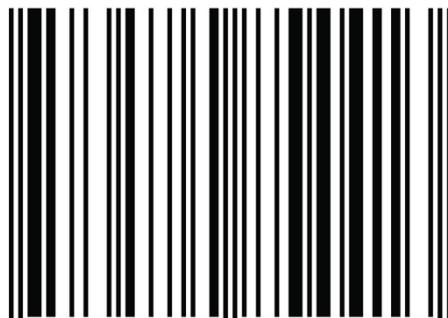
Professor associado da Escola Politécnica da UFRJ. Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (1985). Possui Mestrado (1989) e doutorado (1995) em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ no programa de Estruturas. Atuação em Mecânica das Estruturas, Pontes, Concreto Protendido e Estabilidade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

Rodrigo Barros
barrosrn@ufrn.edu.br

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