

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

ORGANIZZADORES E



AUTORES

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

5

Análise das distribuições de momentos fletores e reações de apoio devidos à carga móvel em tabuleiros de pontes esconsas

PUJATTI, Olímpia Loures Vale

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.

MARCELINO, Karen Andreza

Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Resumo: A análise estrutural de pontes com geometria longitudinal esconsa, apresenta maior complexidade quando comparada à de pontes com traçados retos. Sendo assim, o presente artigo apresenta um estudo paramétrico relativo às distribuições de momentos fletores e de reações de apoio devidos a cargas móveis em tabuleiros de pontes de geometria longitudinal esconsa em vigas. Para tanto, foram desenvolvidos modelos numéricos, via método dos elementos finitos (MEF), a fim de averiguar a influência da esconsidade e da quantidade de vigas (transversais e longitudinais) nas distribuições dos momentos fletores e das reações de apoio, nesse sistema estrutural. Em complemento, também foi verificada a proposta de análise americana, com o intuito de confrontar os resultados obtidos na modelagem. Os resultados expuseram, nas situações da ponte ortogonal com longarinas, a distribuição simétrica dos fatores de distribuição de momentos fletores devidos à carga móvel, de modo que a introdução da esconsidade levou, em todos os modelos, a alterações na distribuição desses esforços ocorrendo tendência de redução em direção ao ângulo obtuso. Ademais, as reações de apoio devidas à carga móvel foram uniformemente distribuídas, apresentando valores iguais para os apoios posicionados à mesma distância do eixo central da estrutura. A introdução da esconsidade gerou um comportamento desigual das reações, com tendência de aumento desses esforços em direção ao ângulo obtuso.

Palavras-chave: MEF; Pontes esconsas; Rigidez do tabuleiro; Transversinas.

1. INTRODUÇÃO

Diante de aspectos como espaço limitado e restrições geográficas, nos centros urbanos, os projetos de pontes e viadutos passaram a demandar soluções mais complexas, como estruturas esconsas. As pontes esconsas são caracterizadas pelo cruzamento não ortogonal entre os eixos da estrutura e do obstáculo vencido. Quando a esconsidade é significativa, a ação de cargas móveis sobre o tabuleiro da ponte dificulta a análise do fluxo de esforços internos.

Nesse sistema estrutural, as reações de apoio, as forças cortantes e os momentos fletores variam de acordo com o ângulo de esconsidade. A metodologia *Load and Resistance Factor Design* (LRFD), proposta pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (Aashto, 2017), fornece valores de correção para o ajuste das forças cortantes e dos momentos fletores em pontes esconsas, mas não especifica correções para as reações de apoio.

Segundo Huo e Zhang (2008), alguns estudos foram realizados para avaliar o efeito da esconsidade de pontes nas forças cortantes atuantes, no entanto, poucas pesquisas avaliaram o efeito da esconsidade das pontes nas reações de apoio e nos esforços de flexão. Além disso, análises referentes à distribuição de cargas móveis em tabuleiros de pontes esconsas que levem em conta a quantidade de transversinas e a rigidez do tabuleiro não são estudadas em profundidade.

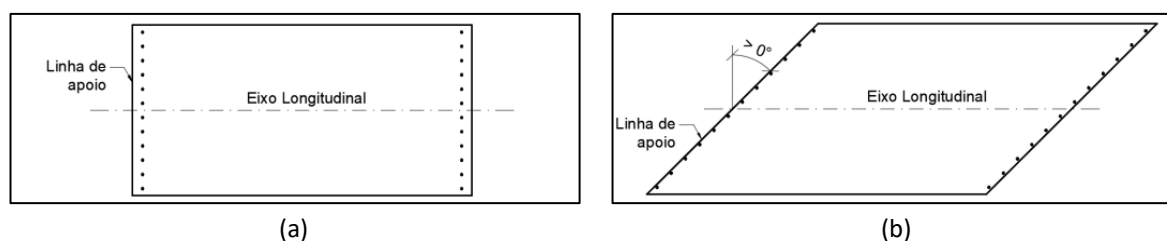
Assim, o objetivo principal deste estudo foi realizar uma análise paramétrica relativa às distribuições de momentos fletores e das reações de apoio devidos à carga móvel prescrita pela NBR 7188 (ABNT, 2024) em pontes com traçado longitudinal esconso no plano horizontal. O diferencial desta pesquisa se baseia na tentativa de investigar os fatores de distribuição de momento fletor (FDMF), considerando a rigidez do tabuleiro das pontes. A análise paramétrica foi baseada nos resultados obtidos a partir da construção modelos numéricos para sistemas estruturais de pontes esconsas utilizando o método dos elementos finitos (MEF) e de resultados de formulações da proposta LRFD da AASHTO (2017) para obtenção de fatores de distribuição.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. PONTES ESCONSAS

Por definição, as pontes esconsas são aquelas nas quais a disposição dos elementos estruturais se dá de tal forma que não ocorre o cruzamento ortogonal com o eixo do obstáculo transposto (Mendes, 2017). Conforme Tardivo (2014), a esconsidade é o complemento do ângulo formado pelo eixo longitudinal de ponte e o encontro. Em função desse ângulo, as pontes podem ser divididas em retas ortogonais, quando esse ângulo é 0° , e esconsas, quando esse ângulo for diferente de 0° (Figura 1).

FIGURA 1: ESQUEMA ILUSTRATIVO DE UMA PONTE: (A) RETA ORTOGONAL E (B) ESCONSA



Fonte: Autores.

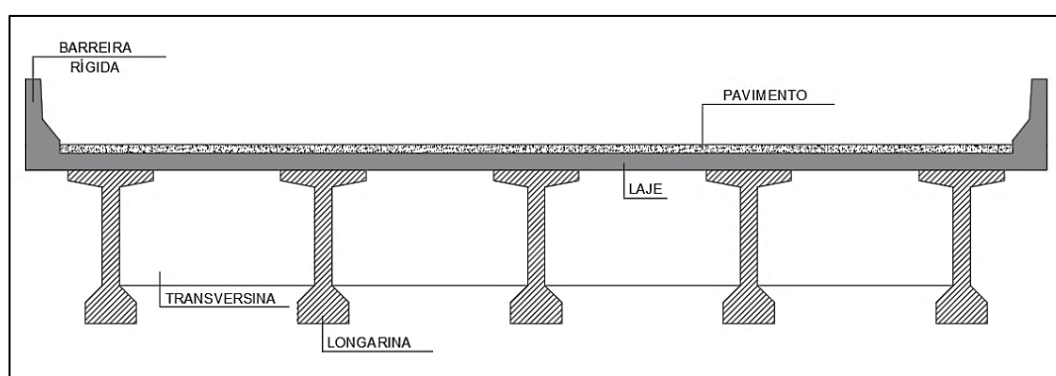
As pontes esconsas podem ser projetadas em laje, em vigas (grelha) ou em seção celular. A utilização do sistema em laje é um dos esquemas estruturais mais simples e indicados para pontes de pequenos vãos, em que o tabuleiro se confunde com uma única peça. Segundo Leonhardt (1979), o vão pode chegar a 20 m em tramo único ou 30 m em tramos sucessivos. O'Brien e Keogh (1999) afirmam que existe uma melhor relação custo-benefício para vãos de até 20 m, ao passo que Chen e Duan (2000) indicam que essas estruturas se tornam econômicas em vãos simplesmente apoiados de até 9 m e em vãos contínuos de até 12 m. Para vãos maiores, recomenda-se utilizar a solução de sistema em vigas (grelha) ou celular.

2.2. SUPERESTRUTURA EM VIGAS (ANALOGIA DE GRELHA)

As superestruturas de pontes retas ortogonais ou esconsas em vigas (grelhas) são compostas pelas longarinas, que são vigas longitudinais que sustentam o tabuleiro, e as transversinas, que são vigas transversais que podem ser ligadas ou não à laje, dispostas de modo a aumentar a rigidez da estrutura e contribuir para a distribuição transversal das cargas móveis (Figura 2). As longarinas se apoiam sobre os pilares sem transmissão de momentos fletores. Assim

sendo, é comum o tratamento da análise estrutural separando a superestrutura da mesoestrutura, considerando os apoios indeformáveis. O cálculo dos esforços internos e dos deslocamentos das longarinas pode ser realizado de forma analítica ou numérica pela teoria de vigas, bem como pelos métodos das forças ou deslocamentos para estruturas hiperestáticas. Em análises numéricas, é comum discretizar as lajes e vigas como elementos de barras, formando grelhas, ou utilizar soluções em elementos finitos para o tabuleiro (Cavalcante, 2016).

FIGURA 2: SEÇÃO TRANSVERSAL GENÉRICA DE UMA PONTE EM GRELHA



Fonte: Autores.

A análise estrutural para a obtenção dos esforços solicitantes e reações de apoio, em pontes em vigas, é realizado por meio de modelos simplificados, nos quais a análise da superestrutura é realizada separadamente dos demais elementos constituintes da ponte (meso e infraestrutura). Devido ao elevado grau de hiperasticidade, a análise do comportamento estrutural de grelhas se torna complexa. Tal complexidade motivou o desenvolvimento dos processos simplificados de cálculo de repartição de cargas em tabuleiros de pontes retas ortogonais com múltiplas longarinas. Recentemente, com a utilização do método dos elementos finitos (MEF), alguns pesquisadores vêm se dedicando ao estudo da influência da utilização de transversinas internas na distribuição de cargas e, também, na discretização da superestrutura, utilizando elementos finitos de barra e casca com o auxílio de programas computacionais para modelar os comportamentos plano e tridimensional dos tabuleiros de pontes hiperestáticas (Medino et al., 2017).

No tocante às pontes esconsas em grelha, Leonhardt (1979) afirma que, para ângulos de esconsidade de até 30°, as pontes esconsas com vigas longitudinais em “T” podem ser

dimensionadas como pontes retas ortogonais. Nesses casos, o apoio extremo do canto obtuso deve ser dimensionado para um acréscimo de cargas verticais. A armadura da laje é disposta em forma de leque na zona de extremidade, o que gera uma maior concentração de armadura no canto obtuso, cobrindo o engastamento de extremidade na transversina do apoio.

Além disso, Tardivo (2014), através de modelagem computacional, estudou três casos de pontes esconsas em grelha. Na análise realizada, observou-se que, com o aumento da esconsidade, para todos os casos, houve a diminuição do momento positivo e o aumento do momento negativo na viga junto ao canto obtuso. Observou-se, também, que houve um acréscimo de aproximadamente 20% nas reações de apoio junto desse canto.

2.3. FATORES DE DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS

Segundo Harris (2007), os fatores de distribuição de esforços gerados pelas cargas móveis podem ser determinados de várias maneiras, no entanto, como 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, em que ambos estão sujeitos ao mesmo carregamento, diversos pesquisadores conceberam os fatores de distribuição em função da utilização do método dos elementos finitos (MEF) como o método refinado para a análise.

Desse modo, os fatores de distribuição de esforços gerados pelas cargas móveis correlacionam o método de análise estrutural em uma dimensão (1D) e o método em duas ou três dimensões (2D ou 3D). De acordo com Barker e Puckett (2014), o fator de distribuição (FD) é definido através da relação entre o esforço interno gerado em determinada posição longitudinal da ponte, geralmente na posição crítica ($[EI]_{refinado}$), determinado através de um método refinado de análise (2D ou 3D) e o mesmo esforço interno definido através da análise 1D da ponte em estudo ($[EI]_{1D}$), como mostra a Equação 1. Nas duas situações, a ponte deve estar submetida ao mesmo carregamento.

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

Assim, conhecidos os fatores de distribuição, a parcela de esforços devido à carga móvel que vai para cada uma das longarinas é determinada através da multiplicação do fator de

distribuição pelo esforço interno obtido através da análise 1D da estrutura, sem a necessidade de modelar a largura da ponte ou sua altura, o que torna o processo de cálculo mais ágil, ideal para pontes de geometria e capacidade de carga usuais.

Contudo, essa metodologia possui algumas limitações. Assim, segundo a AASHTO (2017), ela só pode ser utilizada em sistemas estruturais de pontes com características específicas, sendo necessário, no caso de pontes esconsas, cautela na interpretação dos resultados de distribuição de esforços para pré-dimensionamento.

3. MODELAGEM NUMÉRICA VIA MEF

A modelagem numérica da presente pesquisa foi realizada com auxílio do programa computacional CSiBridge (2017), versão 21, bem como da literatura existente relacionada ao tema em questão. De acordo com Fu e Wang (2015), a escolha do método de modelagem mais apropriado depende do tipo de informação que se deseja encontrar. Como o foco principal do estudo foi a análise dos esforços internos nas pontes esconsas, modelos tridimensionais, via MEF, foram utilizados devido à sua precisão, grande utilização prática e, principalmente, pela possibilidade de visualização concisa dos resultados.

3.1. IDEALIZAÇÃO DOS MODELOS

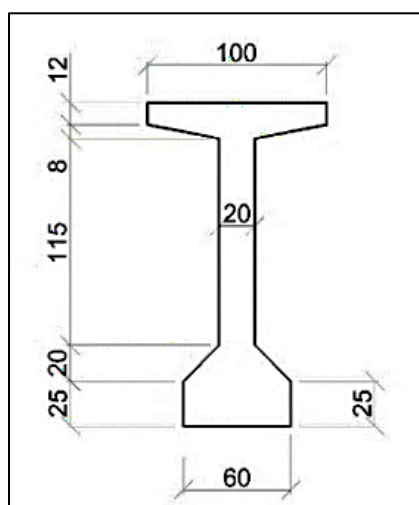
Foram desenvolvidos modelos numéricos no intuito de analisar os fatores de distribuição de momentos fletores e de reações de apoio em pontes esconsas. Para tanto, foi realizada uma análise com base em dois parâmetros: o ângulo de esconsidade (α) e a quantidade de transversinas intermediárias (TIs). Além disso, foram modeladas pontes com diferentes quantidades de longarinas. Averiguou-se, ainda, a precisão das formulações LRFD da AASHTO (2017) quando comparadas ao método numérico (MEF). Sendo assim, para tais análises, foram idealizados 3 grupos.

- Grupo 1 (G1): Superestrutura em grelha com 3 longarinas;
- Grupo 2 (G2): Superestrutura em grelha com 5 longarinas;
- Grupo 3 (G3): Superestrutura em grelha com 7 longarinas.

Para o desenvolvimento deste artigo, o grupo G3 foi utilizado como amostra de análise.

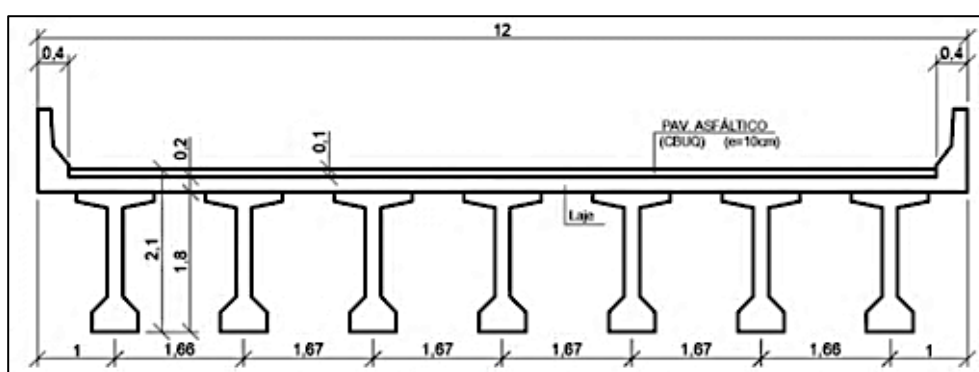
Ademais, na modelagem, as longarinas utilizadas apresentam seção em “I”, cujas características geométricas são apresentadas na Figura 3. Para as transversinas, foi adotada uma seção retangular com altura de 1,35 m e base variável, sendo de 35 cm para as transversinas de apoio e de 25 cm para as intermediárias. No tocante às dimensões das estruturas, estas possuem extensão total de 29,35 m, com um único vão, e suas seções transversais apresentam 12,0 m de comprimento. As configurações transversais do grupo G3 estão apresentadas na Figura 4.

FIGURA 3: CARACTERÍSTICAS DA LONGARINA (DIMENSÕES EM CENTÍMETROS)



FONTE: AUTORES.

FIGURA 4: SEÇÃO TÍPICA DO TABULEIRO DE GRELHA DOS MODELOS DO GRUPO G3 (DIMENSÕES EM METROS)



FONTE: AUTORES.

A Tabela 1 apresenta a síntese dos modelos utilizados na presente pesquisa (referentes ao grupo G3), bem como suas devidas nomenclaturas.

TABELA 1. RESUMO DOS MODELOS DESENVOLVIDOS

Grupo	Modelo*		Seção	Longarinas	Transversinas	α
3	M21	P7LR2T- $\alpha 0^\circ$	"I" moldada <i>in loco</i>	7	2	0°
	M22	P7LR4T- $\alpha 0^\circ$			4	
	M23	P7LR2T- $\alpha 15^\circ$			2	15°
	M24	P7LR4T- $\alpha 15^\circ$			4	
	M25	P7LR2T- $\alpha 30^\circ$			2	30°
	M26	P7LR4T- $\alpha 30^\circ$			4	
	M27	P7LR2T- $\alpha 45^\circ$			2	45°
	M28	P7LR4T- $\alpha 45^\circ$			4	
	M29	P7LR2T- $\alpha 60^\circ$			2	60°
	M30	P7LR4T- $\alpha 60^\circ$			4	

FORTE: AUTORES.

* A identificação de cada ponte especifica o número de longarinas, o número de transversinas intermediárias e o ângulo de esconsidade, nesta ordem. Exemplo: P7LR2T- $\alpha 0^\circ$: Ponte com 7 Longarinas, 2 Transversinas intermediárias e ângulo de esconsidade de 0°.

3.2. MATERIAIS

Em todos os modelos foram utilizadas as mesmas características de material (concreto), definidas de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023). As características adotadas estão apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO MATERIAL

Resistência característica (f_{ck})	Módulo de elasticidade	Coefficiente de Poisson	Peso específico
40 MPa	31870 MPa	0,20	25 kN/m ³

FORTE: AUTORES.

3.3. APARELHOS DE APOIO E CONDIÇÕES DE CONTORNO

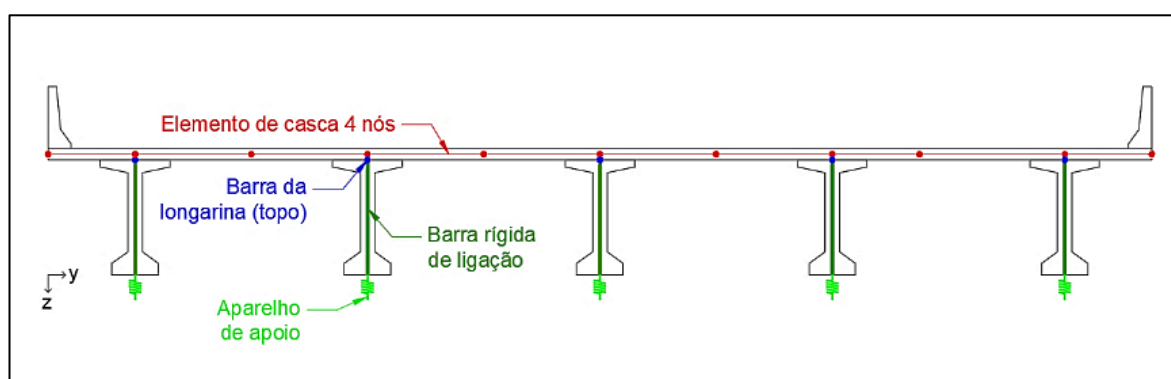
Os aparelhos de apoio foram modelados utilizando-se um link do tipo linear (linear link). Esse tipo de link possui uma relação linear entre a força atuante e seu deslocamento correspondente, que é função da rigidez definida para cada grau de liberdade. A direção local 1 (direção vertical no eixo global) foi considerada como fixa, introduzindo rigidez elevada ($K = 10^{11}$ kN/m). Para as direções locais 2 e 3 (direções U2 e U3), foram definidas rigidezes transversais de 100000 kN/m, de modo a simular um aparelho de apoio do tipo neoprene.

3.4. MODELAGEM NUMÉRICA

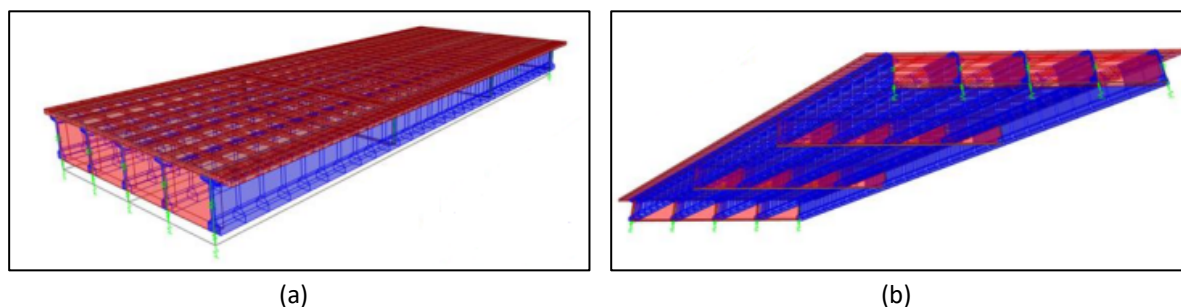
Para a modelagem numérica, utilizou-se modelos tridimensionais, via MEF, através do programa computacional CSiBridge (2017), versão 21. Para todos os modelos desta pesquisa, as longarinas foram modeladas como elementos de barra (*frame*), enquanto a laje e as transversinas foram modeladas com o uso de elementos planos de casca (*shell*), com 4 nós, com espaçamento de malha igual a 50 cm x 50 cm.

A ligação dos nós entre os elementos finitos que representam a ponte com as barras rígidas de interligação foi realizada através da metodologia de nó-mestre-nó-escravo (“*body constraint*”), em que o deslocamento do nó escravo acompanha aquele do mestre, simulando um comportamento de corpo rígido entre eles. Em contrapartida, a ligação da longarina com os apoios foi realizada através de barras rígidas, com comprimento suficiente para transpor o elemento de casca no plano YZ (representando as transversinas de apoio), para conectar-se aos aparelhos de apoio. Nos aparelhos de apoio, foram introduzidos elementos links de rigidez elevada ($K = 10^{11}$ kN/m) nos graus de liberdade restringidos. Na Figura 5, é possível visualizar a discretização dos elementos, ao passo que, na Figura 6, observa-se a modelagem realizada.

Figura 5: Discretização do modelo de ponte em grelha



FONTE: AUTORES.

FIGURA 6: MODELO EXTRUDADO, CONSTRUÍDO ATRAVÉS DO CSIBRIDGE (2017): (A) VISTA SUPERIOR E (B) VISTA INFERIOR

FONTE: AUTORES.

3.5. AÇÕES ATUANTES NA PONTE

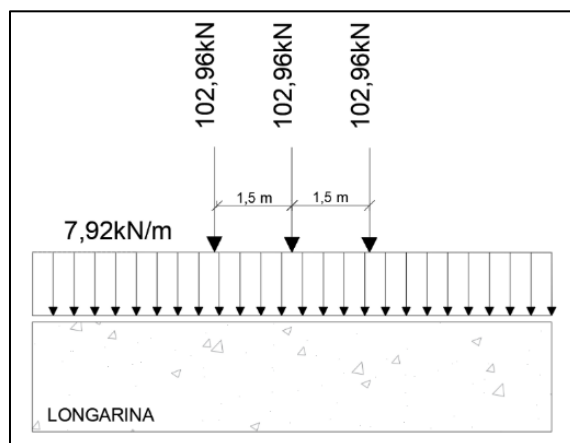
Nesta pesquisa foram consideradas apenas as cargas móveis definidas pela NBR 7188 (ABNT, 2024), ou seja, a carga do veículo-tipo TB-450, correspondente a um veículo-tipo de 450 kN circundado por uma carga distribuída uniforme de 5 kN/m².

3.6. APLICAÇÃO DA PROPOSTA DA AASHTO (2017)

A proposta LRFD, da AASTHO (2017), apresenta formulações para fatores de distribuição de momentos fletores e forças cortantes em pontes, bem como fatores de correção para os casos com esconsidade. Portanto, a título de análise comparativa, os resultados obtidos através da norma americana foram confrontados com aqueles obtidos via MEF, através do CSiBridge (2017).

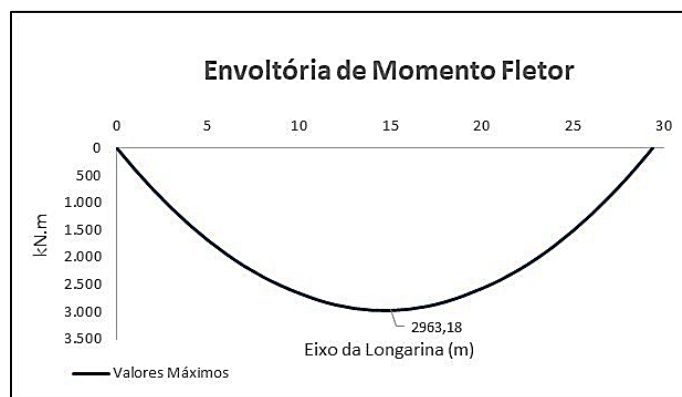
Portanto, para aplicar o trem-tipo brasileiro, TB-450, foram realizadas algumas alterações neste, a fim de compatibilizá-lo com o HL-93, viabilizando a aplicação do método. O trem-tipo brasileiro foi homogeneizado e, posteriormente, ponderado por um coeficiente de impacto de 1,58. Sendo assim, o trem-tipo longitudinal adaptado, apresentado na Figura 7, foi aplicado longitudinalmente na longarina dos modelos, resultando na envoltória de momento fletor apresentada na Figura 8.

FIGURA 7: TREM-TIPO ADAPTADO À PROPOSTA LRFD DA AASHTO (2017)



FONTE: AUTORES.

FIGURA 8: ENVOLTÓRIA DE MOMENTO FLETOR DEVIDA À AÇÃO DO TREM-TIPO ADAPTADO À PROPOSTA LRFD DA AASHTO (2017)



FONTE: AUTORES.

Na envoltória apresentada, foram aplicados os fatores de correção (LLDFs) apresentados na Tabela 3, determinados conforme prescrito na norma americana, sendo obtida a envoltória de momento para cada longarina de acordo com a escurvidade da ponte.

TABELA 3: LLDFs PARA MOMENTO FLETOR NAS LONGARINAS CONFORME ESCURVIDADE

Longarina	0°	15°	30°	45°	60°
V1	0,6148	0,6148	0,5917	0,5620	0,4944
V2	0,5439	0,5439	0,5439	0,5439	0,5439
V3	0,5439	0,5439	0,5439	0,5439	0,5439
V4	0,5439	0,5439	0,5439	0,5439	0,5439
V5	0,5439	0,5439	0,5439	0,5439	0,5439
V6	0,5439	0,5439	0,5439	0,5439	0,5439

FONTE: AUTORES.

3.7. OBTENÇÃO DOS FATORES DE DISTRIBUIÇÃO DE MOMENTO FLETOR (FDMFs) E REAÇÕES DE APOIO

Após a modelagem no programa CSiBridge (2017), foram extraídos os momentos fletores devidos à carga móvel nas longarinas de todos os modelos. Os esforços foram analisados em cinco seções de cada longarina, espaçados a cada 5 m contados a partir do apoio do lado esquerdo da ponte.

Com o objetivo de averiguar a distribuição de carga móvel em tabuleiros de pontes esconsas, admitiu-se a possibilidade de se utilizar os fatores de distribuição de momento fletor (FDMFs) determinados através da relação entre os resultados dos momentos fletores nas seções de análise supracitadas para cada longarina ($M_{longarina}^{MEF\ 3D}$), obtidos através dos modelos 3D, e o resultado do momento fletor para toda a ponte (M_{total}^{1D}), obtido através da modelagem da ponte como uma viga (*spine model*), nas mesmas seções, submetido às mesmas cargas móveis. Esse modelo é concebido a partir do princípio de viga equivalente (*equivalent beam*), em que um único elemento linear (barra), posicionado no centro de gravidade do tabuleiro, representa toda a superestrutura da ponte a ser analisada, na qual esse elemento resiste ao conjunto de carregamentos (permanentes e móveis) aplicados à superestrutura.

Na idealização do modelo *spine model* para finalidade da obtenção dos FDMFs, utilizou-se CSiBridge (2017), alterando o modelo estrutural da ponte para a opção *spine model*, utilizando elementos de barra (*spine model using frame objects*). A modelagem da ponte como modelo *spine* foi utilizada em todos os modelos.

Em síntese, os fatores de distribuição de momento fletor (FDMFs) foram calculados como especificado na Equação 2.

$$FDMF = \frac{M_{longarina}^{MEF\ 3D}}{M_{total}^{1D}} \quad (2)$$

Para a análise dos resultados, foram adotadas análises locais e globais, nas pontes, para captar as diferenças percentuais entre os FDMFs e as reações de apoio dos modelos concebidos.

Basicamente, essas formas de análise são comparações das diferenças percentuais entre a parcela de esforço captado em uma longarina, quando posteriormente comparada a outras longarinas do mesmo grupo (análise global) ou à mesma longarina, porém de grupos distintos

(análise local), verificando, sobretudo, o comportamento da distribuição dos momentos fletores e das reações de apoio frente à variação dos parâmetros envolvidos. Vale ressaltar que, para a análise das reações de apoio, foram extraídos os valores dos elementos finitos localizados nas proximidades dos aparelhos de apoio obtidos da modelagem 3D.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

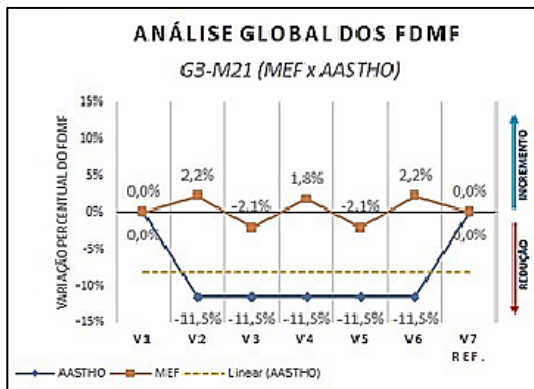
Neste item, são apresentados os resultados dos fatores de distribuição de momentos fletores (FDMFs) e de reações de apoio nas diversas análises realizadas nas pontes em vigas (grelha). Foram utilizados, como referência para a obtenção dos FDMFs, os momentos fletores devidos à carga móvel encontrados através dos modelos numéricos.

4.1. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS DE ANÁLISE: MEF E PROPOSTA DA AASHTO (2017)

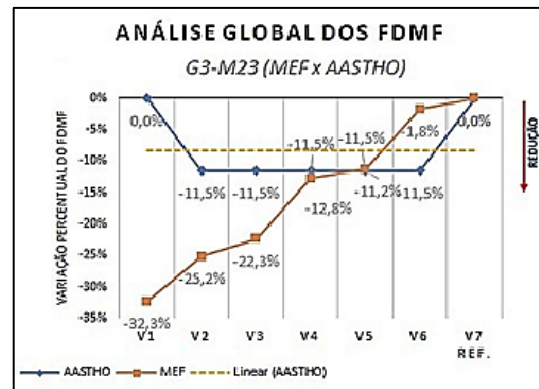
Neste estudo, foi considerado o G3. A análise global desses fatores visou compreender a variação percentual de acréscimo (valores positivos) ou decréscimo (valores negativos) dos FDMFs, com base na longarina mais próxima ao ângulo agudo (V7).

Ao analisar as variações percentuais dos FDMFs apresentados nas Figuras 9 e 10, no modelo ortogonal, verificou-se um comportamento linear dos resultados obtidos pela proposta da AASHTO (2017), em que as longarinas externas apresentam o mesmo fator e as longarinas internas apresentam um fator menor que a longarina de referência (V7), de -11,5%. Os resultados obtidos pelo MEF apresentaram um comportamento simétrico, no qual as longarinas posicionadas à mesma distância em relação ao eixo central apresentaram o mesmo valor.

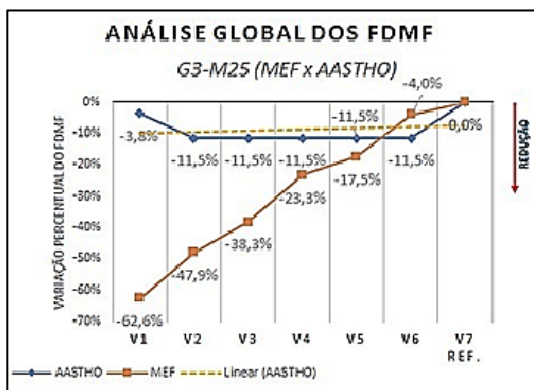
FIGURA 9: ANÁLISE GLOBAL DOS FDMFs DAS PONTES DO G3 SEM TIs, TENDO COMO REFERÊNCIA A V7: A) G3-M21; B) G3-M23; C) G3-M25; D) G3-M27; E) G3-M29



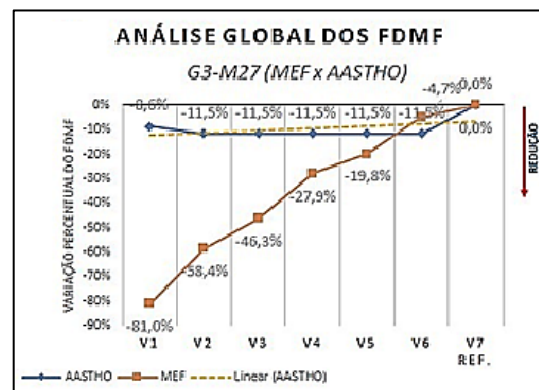
(a)



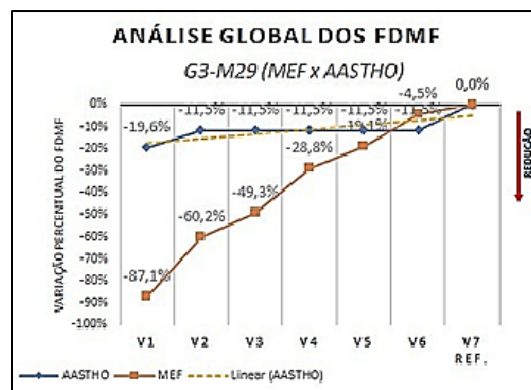
(b)



(c)



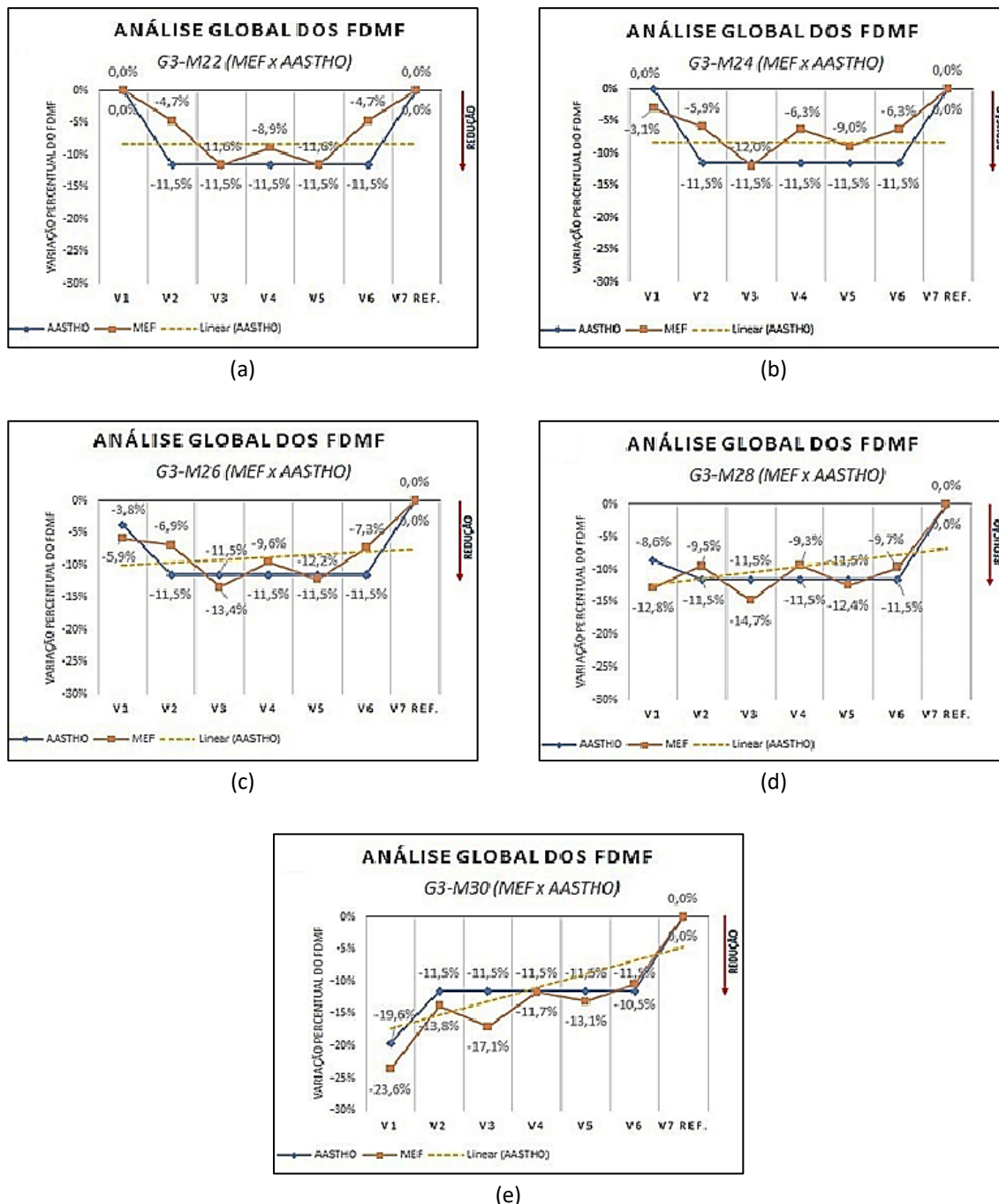
(d)



(e)

FONTE: AUTORES.

FIGURA 10: ANÁLISE GLOBAL DOS FDMFs DAS PONTES DO G3 COM TIs, TENDO COMO REFERÊNCIA A V7: A) G3-M21; B) G3-M23; C) G3-M25; D) G3-M27; E E) G3-M29



FONTE: AUTORES.

Como a introdução da esconsidade, analisando o comportamento da longarina V1, localizada próxima ao ângulo obtuso, verificou-se, em ambos os métodos, a redução dos percentuais dos FDMFs com o aumento da esconsidade. Porém, percebeu-se que, no MEF, essa variação

foi bem mais expressiva. Para o modelo G3-M29, com 60° de esconsidade, a variação pela proposta da AASHTO (2017) foi de -19,6%, ao passo que, pelo MEF, essa variação foi de -87,1%. No caso do modelo G3-M30, com 60° de esconsidade e 2 TIs, a variação pela proposta da norma americana foi de -19,6%, enquanto, pelo MEF, essa variação foi de -23,6%.

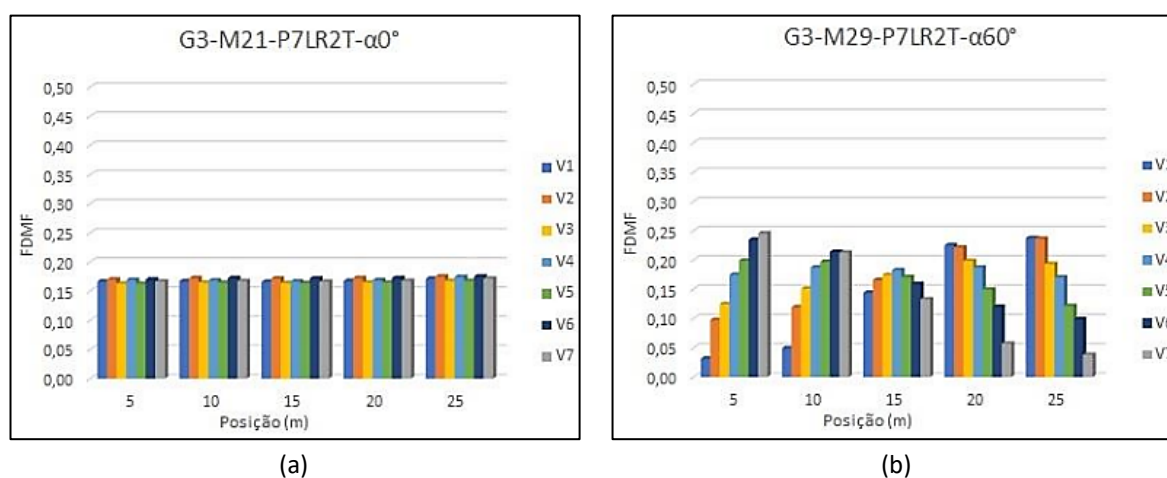
Essa variabilidade de resultados mostrou, com base nas respostas dos modelos propostos, que há a necessidade da ampliação dos fatores de distribuição propostos pela AASHTO (2017), a fim de considerar a mudança de rigidez do tabuleiro devido à presença das transversinas e, também, a presença da esconsidade.

4.2. EFEITO DA ESCONSIDADE NA DISTRIBUIÇÃO DO MOMENTO FLETOR DEVIDO DE CARGA MÓVEL

Nesta etapa, foram analisadas a distribuição e a variação dos fatores de distribuição de momento fletor (FDMFs) devido à ação das cargas móveis, parametrizando a esconsidade. A análise foi realizada ao longo do comprimento das longarinas, sendo consideradas as cinco seções definidas anteriormente.

Os resultados mostraram, nas situações da ponte ortogonal, os fatores (FDMFs) igualmente distribuídos nas longarinas. Ao promover a variação da esconsidade da ponte, essa igualdade começou a ser afetada, principalmente, nas longarinas da extremidade, diminuindo nas seções localizadas próximas ao ângulo obtuso e aumentando no sentido do ângulo agudo (Figura 11).

FIGURA 11: FDMFs DAS PONTES DO G3 SEM TIS OBTIDOS ATRAVÉS DO CSI BRIDGE (2017): (A) G3-M21 E (B) G3-M29



Fonte: Autores.

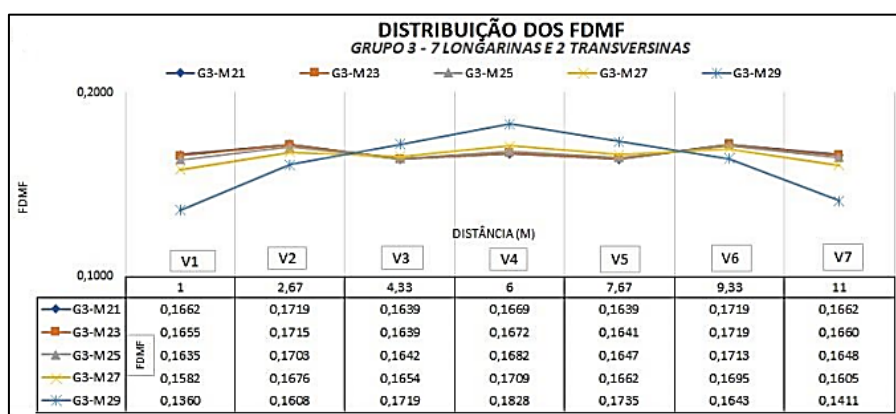
Em todas as situações estudadas, os resultados mostraram, nas situações de ponte ortogonal, a distribuição simétrica dos FDMFs devidos à carga móvel. Após a introdução da esconsidade, ocorreu a alteração da distribuição do momento fletor, afetando o comportamento simétrico, com uma tendência de decréscimo dos fatores em direção ao ângulo obtuso para todos os casos – tendência que se intensificou com aumento da esconsidade. Nos modelos com esconsidade, todas as longarinas apresentaram variações percentuais negativas. Esse resultado mostra que os FDMFs nas longarinas foram inferiores àqueles da longarina de referência, próximo ao ângulo agudo.

4.3. EFEITO DO NÚMERO DE TRANSVERSINAS NA DISTRIBUIÇÃO DO MOMENTO FLETOR DEVIDO À CARGA MÓVEL

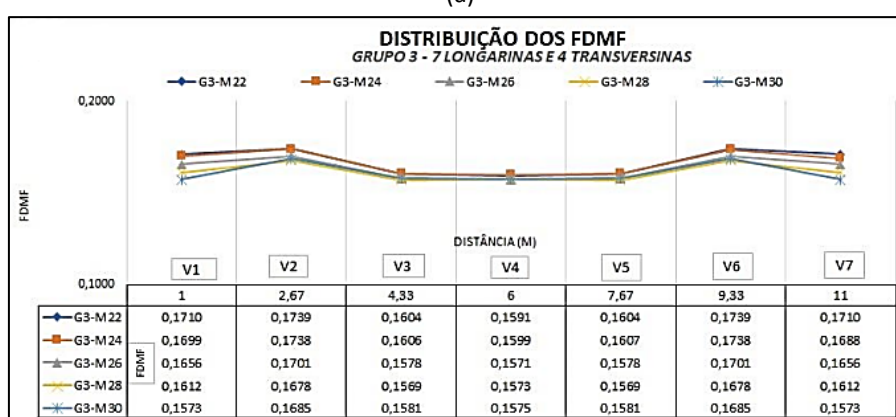
As transversinas têm um papel relevante na distribuição transversal dos esforços de pontes, pois são capazes de aumentar substancialmente a rigidez do tabuleiro. Portanto, foi avaliada a real influência da utilização das transversinas intermediárias (TIs) para pontes esconsas no plano horizontal, sob aplicação das cargas móveis, realizando a variação no número de transversinas aplicadas nos modelos propostos e verificando a distribuição e variação dos FDMFs.

Assim, foi realizada a análise local dos FDMFs para pontes retas e esconsas, para pontes com 0 TI e 2 TIs, mantendo padrão em todos os modelos as transversinas de apoio (TAs). Os fatores de distribuição de momento fletor devidos à carga móvel foram calculados em todos os modelos de estudo dos grupos, em situações com e sem transversinas intermediárias (0 TI e 2 TIs). A análise foi realizada no meio do vão da ponte esconsa. A Figura 12 apresenta o gráfico com o resultado dos modelos do G3 com e sem TIs, com sete longarinas.

FIGURA 12: FDMFs DAS PONTES DO G3 OBTIDOS ATRAVÉS DO CSI BRIDGE (2017): (A) SEM TIs E (B) COM 2 TIs



(a)



(b)

FONTE: AUTORES.

Ao se comparar os dois gráficos, observou-se, nos modelos sem TIs, que o aumento da esconsidade gerou um decréscimo dos FDMFs para as longarinas V1, V2, V6 e V7, sendo mais pronunciado para a esconsidade de 60°. Nas longarinas mais centrais, V3, V4 e V5, ocorreu um acréscimo dos fatores que também foi mais pronunciado para 60° de esconsidade. A análise dos modelos com 2 TIs mostra um comportamento distinto, em que ocorreu o decréscimo dos FDMFs para praticamente todas as longarinas com o aumento da esconsidade.

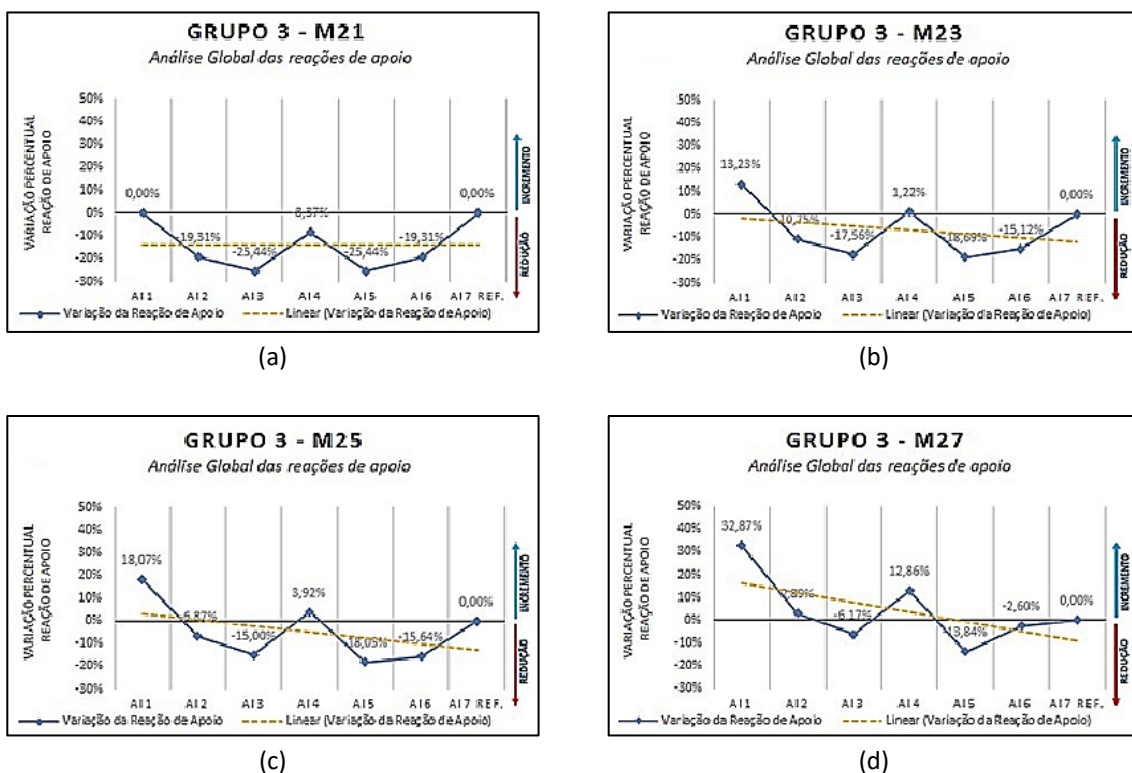
Os resultados mostraram, em todas as situações estudadas, que a variação do ângulo de esconsidade acarretou a alteração da distribuição do momento fletor. No geral, os maiores decréscimos tenderam a ocorrer nas longarinas externas e, os maiores acréscimos, nas longarinas centrais.

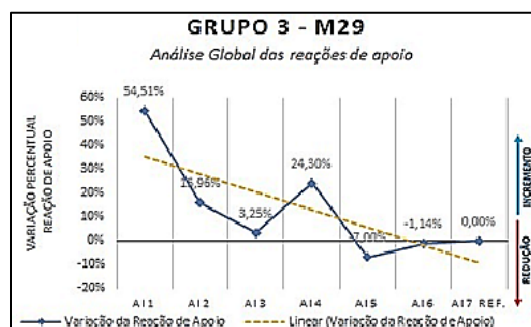
4.4. EFEITO DA ESCONSIDADE NAS REAÇÕES DE APOIO

Para a verificação do comportamento das reações de apoio devido à ação das cargas móveis, com a esconsidade, foram escolhidos, para a análise, os aparelhos de apoio localizados no início do tabuleiro (AIs), visto que as reações do final do tabuleiro se repetem, porém, de maneira inversa.

Analisando os resultados, apresentados graficamente na Figura 13, pode-se observar que, nos modelos de ponte ortogonal, as reações foram distribuídas de maneira uniforme. Assim, os apoios com mesma distância em relação ao eixo central apresentaram valores iguais. O incremento da esconsidade nos modelos gerou a alteração das reações que passaram a ser assimétricas e desiguais, ocorrendo uma tendência crescente em direção ao ângulo obtuso. Esse comportamento foi observado em todos os grupos estudados. Vale ressaltar que, quanto maior o ângulo de esconsidade, maiores foram os valores das variações percentuais.

FIGURA 13: REAÇÕES DE APOIO DAS PONTES DO G3 SEM TIs, TENDO COMO REFERÊNCIA O A17, ATRAVÉS DO CSIBRIDGE (2017): A) G3-M21; B) G3-M23; C) G3-M25; D) G3-M27; E E) G3-M29





(e)

FONTE: AUTORES.

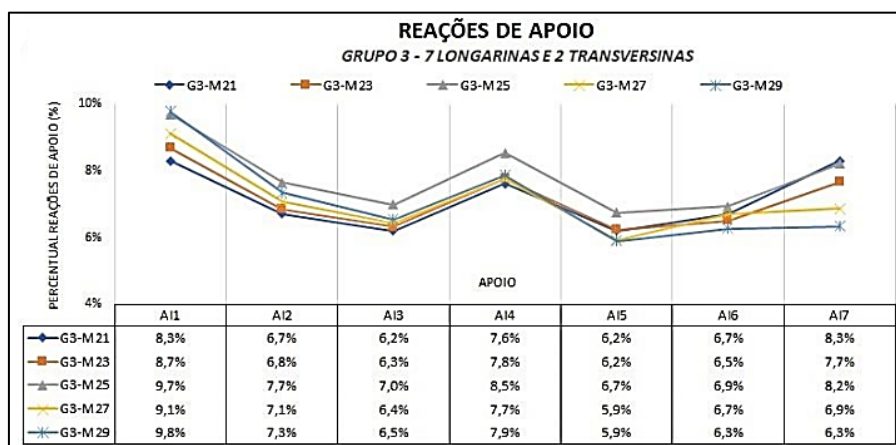
Nas análises realizadas para modelos com 2 transversinas de apoio e 2 transversinas intermediárias, o comportamento foi bem semelhante àquele dos modelos do mesmo grupo e que não apresentavam transversinas intermediárias, ou seja, o incremento da esconsidade, nos modelos, gerou a alteração das reações, que passaram a ser assimétricas e desiguais, ocorrendo uma tendência crescente em direção ao ângulo obtuso.

4.5. EFEITO DO NÚMERO DE TRANSVERSINAS NAS REAÇÕES DE APOIO

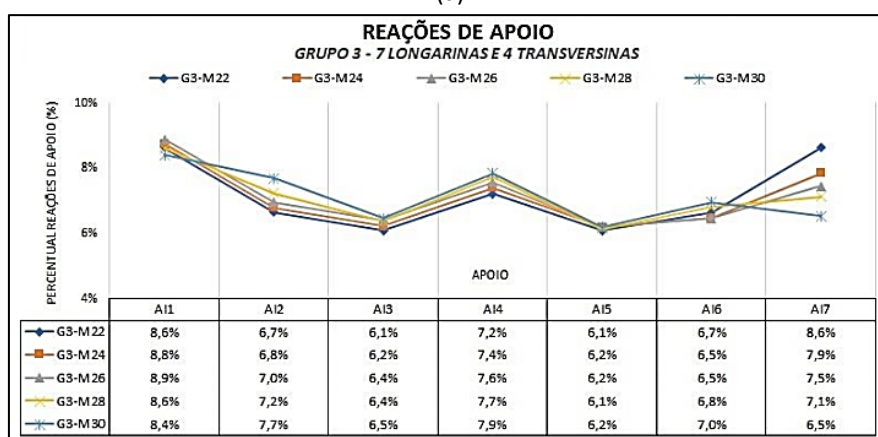
Nesta etapa, foi avaliada a influência da utilização das transversinas intermediárias em pontes esconsas no plano horizontal, sob aplicação das cargas móveis, variando o número de transversinas aplicadas nos modelos propostos e verificando os efeitos gerados nas reações de apoio.

Primeiramente, foi realizada a análise local das reações de apoio para pontes retas e esconsas (Figura 14). Ao se comparar os dois gráficos apresentados, observou-se que, em todos os modelos, as reações de apoio foram afetadas com o aumento da esconsidade. Nos apoios próximos ao ângulo agudo, A17, ocorreram reduções das reações. Nos apoios próximos ao ângulo obtuso, ocorreram aumentos. Porém, é notório que, para os casos com TIs, a diferença nos apoios A13 e A12 foram mais acentuadas.

FIGURA 14: REAÇÕES DE APOIO DAS PONTES DO G3 OBTIDAS ATRAVÉS DO CSI BRIDGE (2017): (A) SEM TIS E (B) COM 2 TIS



(a)



(b)

FORNE: AUTORES.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo, após a realização de uma análise comparativa entre o MEF e a proposta LRFD da AASHTO (2017), verificou-se que há a necessidade da ampliação dos fatores de distribuição propostos pela norma americana, a fim de considerar a mudança de rigidez do tabuleiro devida à presença das transversinas e, também, a presença da esconsidade e seus efeitos.

Com relação ao efeito da esconsidade na distribuição dos momentos fletores devidos à carga móvel, os resultados mostraram, nas situações da ponte ortogonal, uma distribuição simétrica dos FDMFs. Após a introdução da esconsidade, ocorreu a alteração da distribuição do momento fletor, afetando o comportamento simétrico, com tendência de decréscimo dos fatores em direção ao ângulo obtuso para todos os casos – tendência que se intensificou com aumento da esconsidade.

Para a análise do efeito do número de transversinas na distribuição dos momentos fletores devidos à carga móvel, os resultados mostraram, em todas as situações estudadas, que a adição de transversinas intermediárias tornou a distribuição de momento fletor mais equivalente entre as longarinas. Ou seja, de forma geral, houve uma redistribuição de momento fletor com o uso das transversinas intermediárias, visto que parte do esforço das longarinas mais solicitadas migrou para as menos solicitadas. Essa contribuição foi mais efetiva em pontes que apresentaram maiores graus de esconsidade, uma vez que seu aumento afetou de maneira mais significativa a distribuição do momento fletor.

O efeito da esconsidade nas reações de apoio devidas à carga móvel mostrou, nas análises globais, que, nos modelos de ponte ortogonal, as reações foram distribuídas uniformemente, apresentando valores iguais para os apoios posicionados à mesma distância do eixo central. A introdução da esconsidade gerou um comportamento desigual das reações, ocorrendo uma tendência crescente em direção ao ângulo obtuso. Em relação ao efeito do número de transversinas nas reações de apoio, pode-se observar um comportamento semelhante nos modelos com e sem transversinas intermediárias. Ambos apresentaram, com o aumento da esconsidade, uma tendência de acréscimo do valor da reação de apoio em direção aos apoios próximos ao ângulo obtuso e uma grande redução no apoio próximo ao ângulo agudo.

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. (2014), **Design of Highway Bridges: an LRFD approach**, 3. ed., John Wiley & Sons, Hoboken, Nova Jersey, EUA.

CAVALCANTE, G. H. F. (2016), **“Contribuição ao estudo da influência de transversinas no comportamento de sistemas estruturais de pontes”**, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil.

CHEN, W.; Duan, L. (2000), **Bridge Engineering handbook**, CRC Press, Boca Raton, Flórida, EUA.

CSI – **Computers & Structures**, Inc. CSiBridge® (2017). Versão 19.

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”**, Thesis (Doctoral), Virginia Tech, Blacksburg, USA.

HUO, X. S.; Zhang, Q. (2008), **“Effect of skewness on the distribution of live load reaction at piers of skewed continuous bridges”**, Journal of Bridge Engineering, Volume 13, n. 1, 110-114.

LEONHARDT, F. (1979), **Construções de concreto – Volume VI: princípios básicos da construção de pontes de concreto**, Interciência, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

MEDINO, U. A.; Silva Filho, J. N.; Marques, S. O.; Pujatti, O. L. V.; Rebouças, A. S. (2017), **“Análise comparativa das taxas de armadura de flexão em pontes com longarinas retas com esforços obtidos a partir da repartição de cargas utilizando modelos analítico e numérico”**, Anais do XXXVIII Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering (CILAMCE), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

MENDES, L. C. (2017), **Pontes**, 2. ed., EdUFF, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

O’BRIEN, E.; Keogh, D. (1999), **Bridge deck analysis**, CRC Press, London, England.

TARDIVO, F. G. (2014), **“Estudo de esquemas estruturais e modelagem de tabuleiros de pontes esconsas”**, Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

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 aquiridos; 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

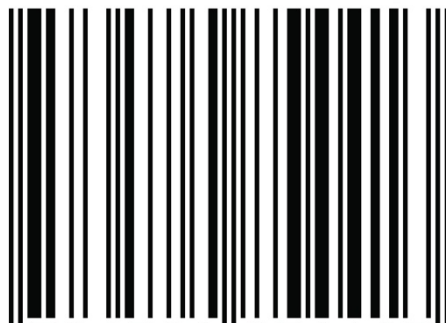
Professor associado da Escola Politécnica da UFRJ. Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (1985). Possui Mestrado (1989) e doutorado (1995) em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ no programa de Estruturas. Atuação em Mecânica das Estruturas, Pontes, Concreto Protendido e Estabilidade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