

## DETERMINAÇÃO DO DESLOCAMENTO LATERAL EM PONTES POR CFD E PELA NORMA NBR 6123 (2023)

LUCAS WILLIAN AGUIAR MATTIAS<sup>1</sup>, ANTONIO VINICIUS SALLES SILVA<sup>2</sup>, HERISSON FERREIRA DOS SANTOS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Eng. Civil, IFRO. Doutorando em Engenharia, UTFPR, Porto Velho-RO, lucas.w.a.mattias@gmail.com;

<sup>2</sup>Estudante de Engenharia Civil, IFRO, Porto Velho-RO, vinuciussalles@hotmail.com;

<sup>3</sup>Dr. em Engenharia, IME-RJ, Professor e Pesquisador, IFRO, herissonsantos@ifro.edu.br;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
06 a 09 de outubro de 2025

**RESUMO:** Este trabalho analisa o deslocamento lateral em pontes submetidas à ação do vento por meio de duas abordagens: simulação numérica em dinâmica dos fluidos computacional (CFD) e cálculo normativo conforme a NBR 6123:2023, que recentemente incluiu capítulo específico para cargas de vento em pontes. Foi estudada uma ponte com seção caixão, de 154,8 m de comprimento, 25,8 m de largura e 7 m de altura. As simulações em CFD consideraram velocidade do vento de 30 m/s, modelo de turbulência k-ε e malha refinada, enquanto a formulação normativa utilizou os coeficientes de arrasto definidos pela norma. A estrutura foi modelada em elementos finitos no software Abaqus, com análise estática linear. Os resultados indicaram que, para a ponte avaliada resultou em deslocamentos laterais com variação máxima de aproximadamente 7,5%. Constatou-se que a elevada rigidez lateral da seção adotada reduziu a relevância das diferenças. Conclui-se que, embora a NBR 6123 possa levar a valores ligeiramente superiores, trata-se de um critério seguro para o dimensionamento. Recomenda-se a investigação de geometrias mais esbeltas e de menor rigidez, a fim de avaliar a influência da variação geométrica na resposta estrutural.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carga do vento, pontes, aerodinâmica, estruturas, método dos elementos finitos.

### DETERMINATION OF LATERAL DISPLACEMENT BY CFD AND BY STANDARD NBR 6123 (2023)

**ABSTRACT:** This work analyzes the lateral displacement of bridges subjected to wind loads using two approaches: numerical simulation in computational fluid dynamics (CFD) and normative calculations according to NBR 6123:2023, which recently included a specific chapter on wind loads on bridges. A box-section bridge measuring 154.8 m long, 25.8 m wide, and 7 m high was studied. The CFD simulations considered a wind speed of 30 m/s, a k-ε turbulence model, and a refined mesh, while the normative formulation used the drag coefficients defined by the standard. The structure was modeled using finite elements in Abaqus software, with linear static analysis. The results indicated that, for the evaluated bridge, lateral displacements resulted in a maximum variation of approximately 7.5%. It was found that the high lateral stiffness of the adopted section reduced the significance of the differences. It is concluded that, although NBR 6123 may lead to slightly higher values, it is a safe criterion for design. It is recommended that more slender and less rigid geometries be investigated to assess the influence of geometric variation on the structural response.

**KEYWORDS:** Wind load, bridges, aerodynamics, structures, finite element method.

### INTRODUÇÃO

Foi publicado em 2023 uma nova versão da norma técnica NBR 6123 (ABNT 2023), intitulada “Forças devidas ao vento em edificações”, na qual acrescentou-se um capítulo específico para cargas de vento em pontes, inovando e evoluindo em relação a versão antiga da norma.

Segundo Vogado (2018), códigos normativos, em geral, fornecem apenas instruções para o cálculo de estruturas com formatos regulares e simétrico. Na prática dos projetos usuais, no entanto, tem se observado arquiteturas cada vez mais diferenciadas e não convencionais, seja pela otimização do espaço ou pela demanda de padrões estéticos mais atrativos. Estudos de características dinâmicas em contraponto aos normativos também são desenvolvidos em outras pesquisas, como em Mattias e Millan Paramo (2022) e Mattias e Abdalla Filho (2023).

Segundo Limas (2003), é muito difícil se obter cargas aerodinâmicas de maneira analítica precisas devido a natureza complexa da interação vento-estrutura. Segundo Wang et al. (2014), o vento se torna um fator muito importante na engenharia de pontes, e diversas pesquisas abordam temas como a estabilidade aerodinâmica do tabuleiro da ponte, a confiabilidade da vibração aleatória induzida pelo vento, vibração induzida por vórtice e vibração dos cabos. Segundo Xu et al. (2003), em pontes esbeltas e pouca adormecidas sob ventos fortes podem sofrer grandes deflexões devido à força média do vento e vibrações consideráveis devido a forças de turbulência e auto excitação.

Segundo Cóstola e Alucci (2011), quando a definição do coeficiente de pressão por meio de túnel de vento não for possível uma alternativa é a dinâmica dos fluidos computacional (CFD) para a simulação do escoamento ao redor dos edifícios e determinação dos coeficientes.

A fluidodinâmica computacional utiliza métodos numéricos de análise do problema como o Método dos Volumes Finitos, esta técnica fora desenvolvida por McDonald e MacCormack & Paullay na década de 1970. Conforme Vergel (2013), este método divide o domínio em volumes elementares para determinar equações aproximadas e satisfazer a conservação das propriedades de transporte para cada volume.

Diante dos novos conceitos normativos e considerando as variações geométricas que induzem variações das características aerodinâmicas, este trabalho realiza simulações numéricas em CFD determina cargas conforme proposto pela NBR 6123 (2023), posteriormente é processado as estruturas e analisado as respostas laterais para as diferentes cargas de vento.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho realizará um comparativo entre resultados de deslocamentos com cargas aerodinâmicas em pontes segundo os resultados em CFD e pela NBR 6123 (2023) para pressões médias na superfície lateral.

### Seções de pontes utilizadas

Neste trabalho será utilizado uma ponte com seção caixão. A Figura 1 ilustra a seção transversal e a longitudinal utilizada neste estudo.

Figura 1. Geometria dos modelos de pontes utilizadas.



O modelo utilizado tem altura de 7,00 m, largura de 25,80 m e comprimento de 154,80 m.

### Cargas determinadas em CFD

Foi adotado um túnel de vento fictício com dimensões de 20Bx10Bx6B, com a locação da ponte a 5B da entrada e 15B da saída na direção x, centralizado a 5B na direção y, e posicionado a 30m da base na direção z.

A malha adotada foi tetraédrica, com refinamento nas faces das pontes analisadas. A velocidade do vento de entrada foi de 30 m/s. Foi adotado como modelo de turbulência o  $k - \epsilon$  ( $k$ -épsilon), que é uma abordagem Navier-Stokes com Média de Reynolds – RANS.

O modelo  $k - \epsilon$ , que é, conforme Vergel (2013), um dos modelos disponíveis mais robustos principalmente pela sua estabilidade numérica. É um modelo semiempírico de dois parâmetros baseado em observações de escoamentos com alto número de Reynolds.

A simulação consiste em 50 iterações para cada análise, sendo refinada a malha entre cada uma destas etapas. O fluido, considerado incompressível. O software utiliza o método de Petrov-Garlekin Modificado. Foi utilizado o software Autodesk CFD. O Método Petrov-Garlekin foi desenvolvido por

Brooks e Hughes (1982). Denomina-se desta maneira os métodos cujas funções de ponderação não coincidem com as funções de forma para os termos da equação.

#### Cargas determinadas pela NBR 6123 (2023)

Consideração a formulação matemática abordada na NBR 6123, pode-se calcular a Força de Arrasto em uma face por meio da seguinte expressão (Eq. 1):

$$F_x = C_x * q * B \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde a expressão para a Força de Arrasto,  $F_a$ , é função do coeficiente de arrasto  $C_x$ , pressão dinâmica do vento  $q$  e a dimensão característica  $B$ .

A pressão do vento  $q$  ( $\text{N/m}^2$ ) é expressa pela formulação que leva em consideração a velocidade característica  $V_k$  (m/s) do vento e a massa específica do ar  $\rho$ .

$$q = \frac{1}{2} * \rho * V_k^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

Para estruturas de tabuleiros de pontes, o coeficiente de força  $C_x$  pode ser calculado pela seguinte equação:

$$C_{a(x)} = 0,21 + 1,9304(B/H_{eq})^{-1,279} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde  $B$  é a largura da ponte,  $H_{eq}$  é a altura de cálculo.

A mesma norma ainda apresenta, em outros capítulos, que uma carga do vento pode ser determinada como o produto do coeficiente de pressão, da pressão do vento e da área efetiva de contato ( $A$ ):

$$F_a = C_a * q * A \quad (\text{Eq. 4})$$

Para cargas do vento em pontes, o item 11.3.1 da norma NBR 6123 determina o cálculo da força ao longo do comprimento pela Eq. 5, considerando que  $C_x$  é um coeficiente em função de  $B$ .

$$F_x = \frac{1}{2} \rho V_k^2 * B * C_x \quad (\text{Eq. 5})$$

#### Modelo em elementos finitos

Foi utilizado o software Abaqus para modelagem e análise estática linear da ponte. A geometria foi modelada com elementos triangulares de 3 nós tipo “Shell S3”. Foi adotado como material concreto com Módulo de Young de 30 Gpa e Coeficiente de Poisson de 0.20. Nas extremidades da ponte foram aplicados condições de apoio simples, permitindo a rotação. Foi aplicado carga superficial permanente devido a pavimentação e recapeamento. Foi aplicado carga de trem-tipo Classe 45 conforme NBR 7188 (2024). Foi adotado uma malha refinada com elementos máximos de  $H/10$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir desses resultados, foi realizado a soma das pressões de barlavento e sotavento para determinar a pressão resultante na direção  $x$  em todo o modelo. Enquanto a pressão na face frontal (barlavento) é positiva, na face posterior (sotavento) é negativa, que representa sucção, mas se mantém gerando pressão na direção  $x$ . Desta maneira, pode-se calcular a força total atuante no modelo e o Coeficiente de Arrasto  $C_x$  gerado. Nota-se que a metodologia de cálculo da NBR 6123 (2023) é diferente, onde  $C_x$  é em função de  $B$  (largura) e não ao longo da altura de atuação da pressão. Assim, comparou-se as forças resultante e, para manter o formato de análise, o  $C_x$  calculado por CFD foi em função de  $B$ . A Tabela 1 apresenta os dados resultantes. Na Tabela 1,  $q_1$  é a pressão gerada pelo método da NBR 6123 (2023), em função de  $B$ , e  $q_2$  é a pressão na área efetiva de atuação.

Tabela 1. Coeficientes de Arrasto e Forças Resultantes

Modelo	B	H	NBR 6123				CFD			
			Cx	q1	q2	F	Cx	q1	q2	F
Caso 1	25,8	7	0,5739	316,66	1.167,11	8169,81	0,3934	217,05	800	5600
Caso 2	25,8	7	0,5739	316,66	1.167,11	8169,81	0,5655	312,01	1150	8050

Pode-se, diante dos resultados apresentados, comparar o Cx segundo a NBR 6123 (2023) com os valores obtidos nesta simulação.

Para a ponte estudada, foram simulados dois casos de carga do vento, um para carga de 800 N/m<sup>2</sup> correspondente ao valor determinado por CFD, e outro caso com 1167 N/m<sup>2</sup> correspondente ao valor determinado pela NBR 6123. As figuras 1 e 2 demonstram os resultados obtidos.

Figura 1. Deslocamento lateral na ponte para o caso 1 (carga por CFD).

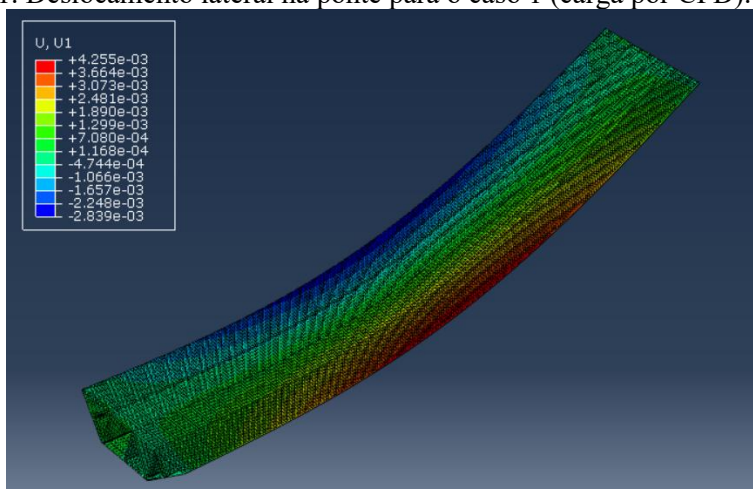
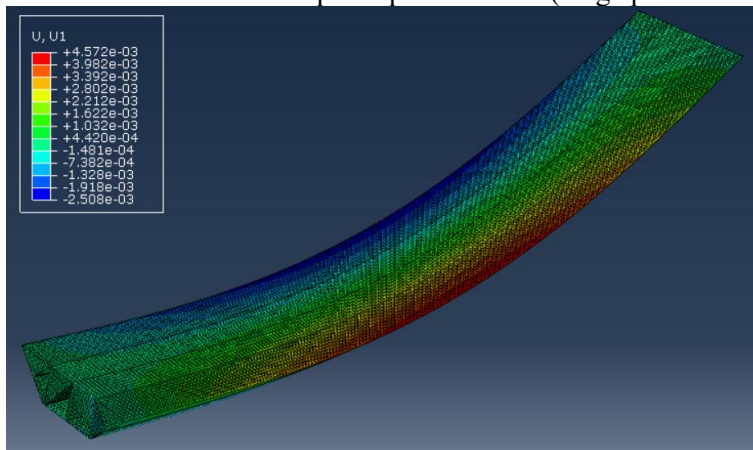


Figura 2. Deslocamento lateral na ponte para o caso 2 (carga pela NBR 6123).



Nos dois casos simulados para esta ponte estudada, foi obtido um deslocamento lateral máximo com uma variação de aproximadamente 7,5%. A variação em termos absolutos não foi muito relevante. Pode-se atribuir este ocorrido ao fato de a ponte estudada ter uma alta rigidez lateral, com uma largura (B=25,80m) considerada grande para os padrões de ponte. Portanto, é interessante que se estude também ponte com largura menor para estudar a influência da variação geométrica nestes casos na resposta de deslocamento. Percebeu-se também que os deslocamentos são predominantes na direção vertical oriundos por cargas permanentes do trem-tipo do veículo.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho foi estudado 2 casos de cargas de vento para uma mesma ponte. Um caso com carga oriunda de simulação por CFD e outra pela norma NBR 6123.

Para uma relação de  $B/H = 3,68$ , o  $C_x$  para o modelo retangular foi similar ao da norma, contudo, no modelo chanfrado foi inferior. O modelo com chanfro, por ter melhor desempenho aerodinâmico que o modelo retangular (rombudo), apresentou menor carga aerodinâmica.

A Metodologia da norma apresentou um padrão adequado de comportamento, contudo, em alguns casos, pode gerar superdimensionamento. Porém, é uma prática favorável à segurança da população.

O deslocamento lateral da ponte com carga pela norma foi similar ao de CFD. Contudo, é ainda interessante estudar pontes de largura pequena e menor rigidez lateral.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (EDITAL Nº 11/2023/REIT - PROPESP/IFRO).

## REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2023. *NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações*. ABNT, Brasil.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2024. *NBR 7188: Ações devido ao tráfego de veículos rodoviários e de pedestres em pontes, viadutos e passarelas*. ABNT. Brasil.
- Brooks, A., and T. J. R. Hughes. 1982. "Streamline Upwind/Petrov-Galerkin Formulations for Convection Dominated Flow with Particular Emphasis on the Incompressible Navier- Stokes Equations." *Comp. Meths. Appl. Mech. Engng*, 32: 199–259.
- Cóstola, D., and M. P. Alucci. 2011. "Application of CFD simulations for the calculation of external wind pressure coefficients on openings of a building." *Ambiente Construído*, 11 (1): 145–158.
- Limas, L. F. 2003. "Determinação das características aerodinâmicas de seções transversais de pontes em túnel de vento." Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Mattias, L. W. A., and J. E. Abdalla Filho. 2023. "Dynamic behavior of H-shape tall building subjected to wind loading computed by stochastic and CFD methodologies." *Wind and Structures, An International Journal*, 37 (3): 229 – 243. <https://doi.org/10.12989/was.2023.37.3.229>.
- Mattias, L. W. A., and C. A. M. Paramo. 2022. "Study of the dynamic response of a CAARC building by the synthetic wind method and comparison with different approaches." *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*. Emerald Group Holdings Ltd. <https://doi.org/10.1108/MMMS-12-2021-0204>.
- VERGEL, J. L. G. 2013. "Estudo da Influência da Malha Computacional, Modelos de Turbulência e Aspectos Numéricos da Modelagem CFD em Impelidores PBT usando Malhas Não-estruturadas." Universidade Estadual de Campinas.
- Vogado, M. W. 2018. "CARACTERIZAÇÃO AERODINÂMICA DE EDIFÍCIOS ALTOS COM PLANTA EM FORMATO DE 'V' ATRAVÉS DE ALTOS COM PLANTA EM FORMATO DE 'V' ATRAVÉS DE.".
- Wang, T., W. Han, F. Yang, and W. Kong. 2014. *Wind-vehicle-bridge coupled vibration analysis based on random traffic flow simulation*. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*.
- Xu, Y. L., H. Xia, and Q. S. Yan. 2003. "Dynamic Response of Suspension Bridge to High Wind and Running Train." *Journal of Bridge Engineering*, 8 (1): 46–55. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2003\)8:1\(46\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2003)8:1(46)).