

Tema: Estruturas de aço e mistas de aço e concreto

**ANÁLISE DA RELEVÂNCIA DO MODO DE FLAMBAGEM LOCAL-DISTORCIONAL NO
DIMENSIONAMENTO NA COMPRESSÃO AXIAL DE PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO**

Rafael Vieira de Oliveira¹
Eduardo de Miranda Batista²

Resumo

A resistência estrutural de perfis de aço formados a frio (PFF) é fortemente afetada pelos modos de flambagem, devido ao fato de se tratar de seções esbeltas com paredes finas. Os métodos da resistência direta (MRD) e das seções efetivas (MSE), preconizados pela norma ABNT NBR14762:2010, indicam procedimentos de cálculo que incorporam os modos de flambagem local (L), local-global (LG) e distorcional (D) sem, no entanto, contemplar o modo local-distorcional (LD). Apesar da literatura apresentar o modo LD como potencial redutor da resistência de barras de PFF, a referida norma brasileira ainda não contempla esse caso. O presente trabalho apresenta os resultados de pesquisa com o objetivo de identificar a relevância do modo de flambagem LD em barras sob compressão axial, para o caso de seções de tipo U enrijecido (U_e) regularmente adotadas em projetos de estruturas. As análises contam com resultados numéricos e experimentais para a aferição de procedimento de dimensionamento desenvolvido pelo grupo de pesquisa, de modo a confrontar as recomendações atuais da norma brasileira com a proposta desenvolvida com base no MRD, para o caso do modo de flambagem LD. Os resultados obtidos indicam que o procedimento proposto é compatível com a condição de simplicidade e confiabilidade.

Palavras-chave: Perfis de aço formados a frio; Interação entre modos de flambagem Local e Distorcional; Dimensionamento estrutural; Método Direto de Resistência.

LOCAL-DISTORTIONAL BUCKLING MODE RELEVANCE FOR THE DESIGN OF COLD-FORMED STEEL MEMBERS UNDER AXIAL COMPRESSION

Abstract

The structural strength of cold-formed steel members (CFS) is strongly affected by the buckling modes, considering the slenderness of thin-walled slender sections. The direct strength (DSM) and the effective section (ESM) methods, recommended by ABNT NBR14762:2010, indicate calculation procedures that incorporate local (L), local-global (LG) and distortional (D) buckling modes without, however, considering the local-distortional mode (LD). Although the literature presents the LD mode as a potential origin of the erosion of the strength of CFS members, the referred Brazilian standard does not yet contemplate this case. The present work shows the research results aiming at identifying the relevance of the LD buckling mode for CFS members under axial compression, for the case of lipped channel (LC) sections regularly adopted in structure designs. The analyses rely on numerical and experimental results for the evaluation of the design method developed by the research group, in order to compare the current recommendations of the Brazilian standard with the DSM-based proposal developed, for the case of the LD buckling mode. The obtained results indicate that the proposed procedure is compatible with the condition of accuracy, simplicity and reliability.

Keywords: Cold-formed steel members; Local-distortional buckling mode interaction; Structural design; Direct strength method.

¹ Bacharel em Engenharia Civil, Mestrando no Programa de Engenharia Civil da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Professor Titular no Departamento de Estruturas da Escola Politécnica e no Programa de Engenharia Civil da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A resistência estrutural de perfis de aço formados a frio (PFF) é fortemente condicionada ao comportamento de flambagem devido às seções esbeltas de paredes finas desses membros. Em barras na compressão axial, podem se desenvolver os modos de flambagem local (L), distorcional (D), global (G) ou a combinação destes, que constituem as interações de modos de flambagem: LG, LD e LDG. Dentre estes modos, a versão atual da norma brasileira de dimensionamento de elementos estruturais de aço formados a frio, NBR 14762:2010 [1], não contempla os casos LD e LDG em seu modelo de cálculo baseado (i) no Método da Resistência Direta (MRD) (Schafer e Peköz [2]) e (ii) no Método das Seções Efetivas (MSE) (Batista [3]). Porém, Matsubara *et al* [4] obtiveram resultados que mostram o relevante impacto do modo LD na resistência de barras na compressão axial de perfis formados a frio com seção U enrijecido (U_e).

Confirmada a importância do modo LD na redução da resistência de PFF's com seção U_e , comprimidos axialmente, Matsubara e Batista [5] propõem um modelo analítico de cálculo baseado no MRD, que leva em consideração os efeitos da interação entre os modos de flambagem L e D. Essa proposta deixa evidente a intenção dos autores em estabelecer uma superfície de resistência de transição LD, entre os casos de comportamento puro de flambagem L e D. Para definição dessa superfície foi definido o parâmetro $R_{\lambda_{DL}} = \lambda_D/\lambda_L$ como a principal variável do problema, e considerado que a interação LD é de fato relevante no seguinte intervalo: $0,45 \leq R_{\lambda_{DL}} \leq 1,05$. Nos limites propostos da variável $R_{\lambda_{DL}}$, a superfície de resistência proposta converge para a formulação do MRD prescrita na norma NBR 14762:2010: (i) para $R_{\lambda_{DL}} < 0,45$, a resistência é descrita pela equação do MRD para o modo L e, (ii) para $R_{\lambda_{DL}} > 1,05$, é adotada a equação de resistência do modo D. No intervalo de interesse do modo LD a superfície de resistência proposta é formada por uma equação do tipo Winter, com parâmetros calibrados com resultados numéricos e experimentais, que variam em função de $R_{\lambda_{DL}}$. Esta formulação será apresentada mais adiante.

Dessa maneira, o presente trabalho visa aplicar o modelo analítico atual da NBR 14762:2010 e o modelo proposto por Matsubara e Batista [5], na compressão axial de PFF de aço, para seções do tipo U enrijecido (U_e) comerciais obtidas da NBR 6355:2012 [6]. Os resultados obtidos são avaliados comparativamente, com base em resultados numéricos obtidos por modelo de análise não linear no método dos elementos finitos (MEF), desenvolvido com auxílio do *software* ANSYS [7].

2 ANÁLISE DE RESISTÊNCIA NA COMPRESSÃO AXIAL: MODO DE FLAMBAGEM COM INTERAÇÃO LOCAL-DISTORCIONAL (LD)

Em linha com o objetivo do trabalho, um grupo de barras estruturais de aço formadas a frio foi escolhido na NBR 6355:2012 [6] e submetido a compressão axial. Os resultados obtidos da resistência estrutural são avaliados com base nas seguintes metodologias: i) métodos da resistência direta (MRD) e das seções efetivas (MSE) preconizados na NBR 14762:2010 [1]; ii) método analítico baseado no MRD, para o modo de interação LD, desenvolvido por Matsubara e Batista [5]; e iii) método dos elementos finitos com o *software* ANSYS [7].

Os resultados analíticos, obtidos da norma brasileira e do método proposto por Matsubara e Batista [5], foram avaliados com base na comparação com os resultados numéricos pelo MEF. Estes resultados tiveram a confiabilidade aferida utilizando-se o método LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) preconizado na norma norte americana para projetos de estruturas de perfis de aço formados a frio, AISI-S100-16 [8].

2.1 Conjunto de barras na compressão axial estudado

A Tabela 2 do anexo apresenta as características geométricas das barras na compressão axial de perfil U_e consideradas para o presente estudo. b_w , b_f , b_s e t são as dimensões medidas por fora da seção do perfil conforme mostra a Figura 1, A é área da seção e L é o comprimento da barra. Esses perfis foram extraídos do grupo de perfis estruturais de aço formados a frio de séries comerciais apresentados na NBR 6355:2021 [6].

Foi considerado aço de padrão corrente (ASTM A 572 grau 50) com módulo de elasticidade $E = 200 \text{ GPa}$, coeficiente de *poisson* $\nu = 0,3$ e tensão de escoamento $f_y = 345 \text{ Mpa}$ para todas as barras na compressão axial estudadas.

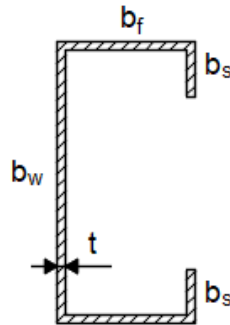


Figura 1. Nomenclatura das dimensões da seção transversal U_e

Os comprimentos dos elementos foram definidos de forma que a razão $\lambda_G/\lambda_{máxLD}$ seja menor ou igual a 0,4 e a razão L/b_w seja maior do que 2. Este primeiro critério tem o propósito de evitar a influência do modo global nas análises, enquanto o segundo garante o desenvolvimento do modo L. Nos casos em que não foi possível atender aos dois critérios, considerou-se somente o segundo (barras 5 e 6 da Tabela 2).

2.2 Procedimento de dimensionamento estrutural conforme a NBR 14762

A NBR 14762:2010 [1] indica o MRD e MSE para o cálculo da resistência última de membros de aço formados a frio sob compressão axial. A norma [1] estabelece que a resistência última N_{CR} é igual ao menor valor entre as resistências para os modos de flambagem LG e D (respectivamente, N_{cRLG} e N_{cRD}) que são calculados pelas Equações 1 e 2.

$$N_{cRLG} = \begin{cases} N_{cRG}, & \lambda_{LG} \leq 0,776 \\ \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_{LG}^{0,8}}\right) \frac{N_{cRG}}{\lambda_{LG}^{0,8}}, & \lambda_{LG} > 0,776 \end{cases} \quad (1)$$

$$N_{cRD} = \begin{cases} N_y, & \lambda_D \leq 0,561 \\ \left(1 - \frac{0,25}{\lambda_D^{1,2}}\right) \frac{N_y}{\lambda_D^{1,2}}, & \lambda_D \geq 0,561 \end{cases} \quad (2)$$

Onde $N_y = f_y A$ é a resistência axial ao escoamento de uma coluna com tensão de escoamento f_y e área da seção transversal A , e N_{CRG} é a resistência para o modo G do elemento definida pela Equação 3. $\lambda_{LG} = (N_{CRG}/N_L)^{0,5}$, $\lambda_D = (N_y/N_D)^{0,5}$ e $\lambda_G = (N_y/N_G)^{0,5}$ são os índices de esbelteza para, respectivamente, flambagem LG, D e G. Para o cálculo de N_L foi utilizado, quando aplicável, o MSE preconizado na norma [1]. Para os casos não aplicáveis ao MSE, a carga crítica local foi obtida através de análise de flambagem pelo método das faixas finitas (MFF) por meio do *software* FStr [9], assim como foi feito para a obtenção de N_D .

$$N_{CRG} = \begin{cases} 0,658\lambda_G^2 N_y, & \lambda_G \leq 1,50 \\ \frac{0,877}{\lambda_G^2} N_y, & \lambda_G > 1,50 \end{cases} \quad (3)$$

2.3 Procedimento de dimensionamento estrutural com consideração do modo LD

Diante do potencial do modo LD de flambagem em alterar a resistência última de barras na compressão axial e do fato da NBR 14762:2010 não contemplar esse modo em seu procedimento de cálculo, Matsubara e Batista [5] propõem um método analítico baseado no MRD que inclui a interação LD na superfície de resistência de barras na compressão axial. A resistência última (neste caso, N_{CR}^*) é igual ao menor valor entre as resistências para os modos de flambagem LG e LD (respectivamente, N_{CRLG} e N_{CRLD}). Este primeiro já foi definido na seção 2.2 e este último é definido pelas Equações 4 e 5 desta seção. $\lambda_{máxLD}$ é o máximo índice de esbelteza entre λ_L e λ_D , S_n é o coeficiente de forma da seção ($S_n = 1$ para seções U_e) e A e B são definidos, respectivamente, pelas Equações 6 e 7. Nestas equações $R_{\lambda DL} = \lambda_D/\lambda_L$.

$$N_{CRLD} = \begin{cases} N_y, & \lambda_{máxLD} \leq \lambda_{limite} \\ \left(1 - \frac{A}{\lambda_{máxLD}^B}\right) \frac{S_n N_y}{\lambda_{máxLD}^B}, & \lambda_{máxLD} > \lambda_{limite} \end{cases} \quad (4)$$

$$\lambda_{limite} = \sqrt[B]{0,5S_n + \sqrt{0,25S_n^2 - AS_n}} \quad (5)$$

$$A = \begin{cases} 0,15, & R_{\lambda DL} < 0,80 \\ 0,4R_{\lambda DL} - 0,17, & 0,80 \leq R_{\lambda DL} \leq 1,05 \\ 0,25, & R_{\lambda DL} > 1,05 \end{cases} \quad (6)$$

$$B = \begin{cases} 0,80, & R_{\lambda DL} < 0,45 \\ -2,26R_{\lambda DL}^2 + 4,06R_{\lambda DL} - 0,57, & 0,45 \leq R_{\lambda DL} \leq 1,05 \\ 1,20, & R_{\lambda DL} > 1,05 \end{cases} \quad (7)$$

A Figura 2 apresenta a superfície de resistência proposta por Matsubara e Batista, conforme descrito nas Equações 4 a 7.

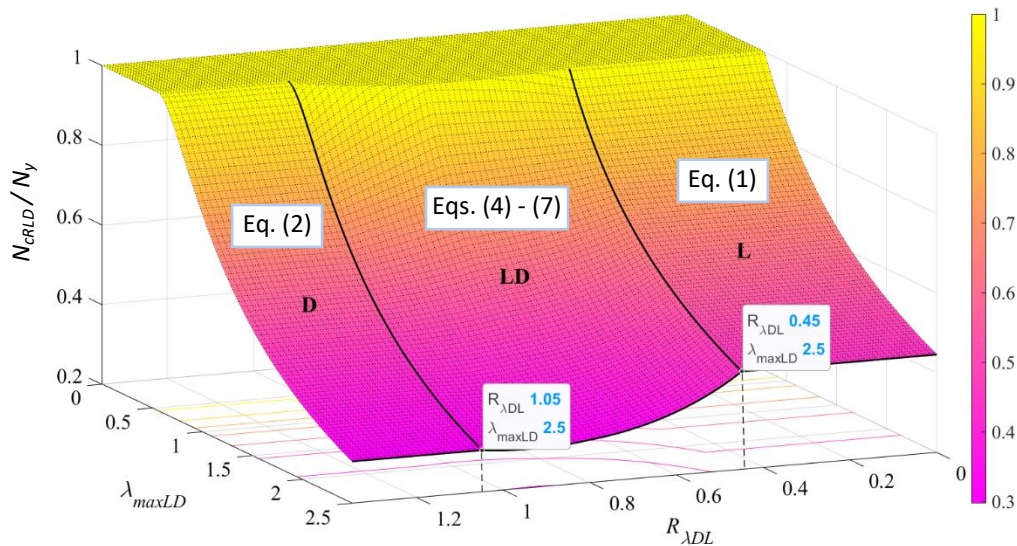


Figura 2. Superfície de resistência para os modos L, D e LD [5]

2.4 Análise numérica

A análise numérica pelo MEF foi realizada no *software* ANSYS [7]. Considerou-se na análise o aço com comportamento bi linear, tendo patamar horizontal de escoamento igual a tensão de escoamento f_y e sem considerar a fase do encruamento do material.

2.4.1 Modelo de elementos finitos

Os modelos numéricos das barras na compressão axial foram elaborados utilizando o elemento de casca quadrilateral *shell* 181 do ANSYS [1], com dimensões não maiores do que 5mm. Essa opção de malha foi considerada satisfatória e adequada por Matsubara et al [4]. Os cantos das peças foram modelados sem apresentar a curva de dobramento da chapa, não foi considerado o aumento da tensão de escoamento causado pelo trabalho a frio nas regiões vizinhas aos cantos dobrados, assim como não foi considerado o efeito das tensões residuais. Estas premissas foram testadas anteriormente e concluiu-se que não implicam em efeitos significativos nos resultados das análises pelo MEF.

Foram aplicadas duas forças axiais, uma em cada extremidade da coluna, localizadas no centroide da peça e em sentidos opostos, de forma a comprimi-la. O módulo da força (máxima) aplicada corresponde à carga de plastificação do aço, $N_y = Af_y$. No que diz respeito à análise não linear, foi adotada uma imperfeição inicial com amplitude igual a 10% da espessura do perfil e forma igual ao autovetor do primeiro modo de flambagem da análise linear-elástica. Este modo de flambagem (local ou distorcional) e amplitude de imperfeição geométrica inicial tem sido testado anteriormente, comprovando-se que atende a necessidade de produzir resultados compatíveis com os registros experimentais disponíveis na literatura [4]. Além disso, para a análise não linear, foi adotado o método de comprimento de arco (*Arc Length Method*, Método de Ricks), de modo a permitir a identificação da carga limite (transição entre regimes estável e instável da barra comprimida axialmente). A carga limite, por sua vez, identifica a resistência à compressão da barra.

O modelo do MEF incluiu restrições de deslocamentos aplicadas nas seções de extremidade da coluna, de forma que os deslocamentos no plano da seção transversal fiquem impedidos e as rotações e o deslocamento axial liberados, conforme ilustrado na Figura 3. Foi utilizado o algoritmo de contato Multipoint Constraint (MPC) (recurso para a criação de contato entre geometrias ou vínculos de deslocamento) para representar a condição de extremidade das colunas. Os elementos CONTA175 e TARGE170 são utilizados para esse tipo de contato no ANSYS. O elemento TARGE170 representa os nós da extremidade do perfil, e o elemento CONTA175 representa o nó localizado no centroide da seção, que é responsável por receber a carga de compressão. Com o contato estabelecido, a carga é transmitida do nó do centroide para os nós que formam o contorno (linha média) da seção de extremidade.

Adicionalmente às condições de extremidade, o deslocamento axial do nó localizado a meio comprimento do perfil ($L/2$), localizado no centro da alma ($b_w/2$) foi restringido, conforme mostrado na Figura 3, a fim de evitar comportamento de corpo livre e problemas numéricos durante a análise.

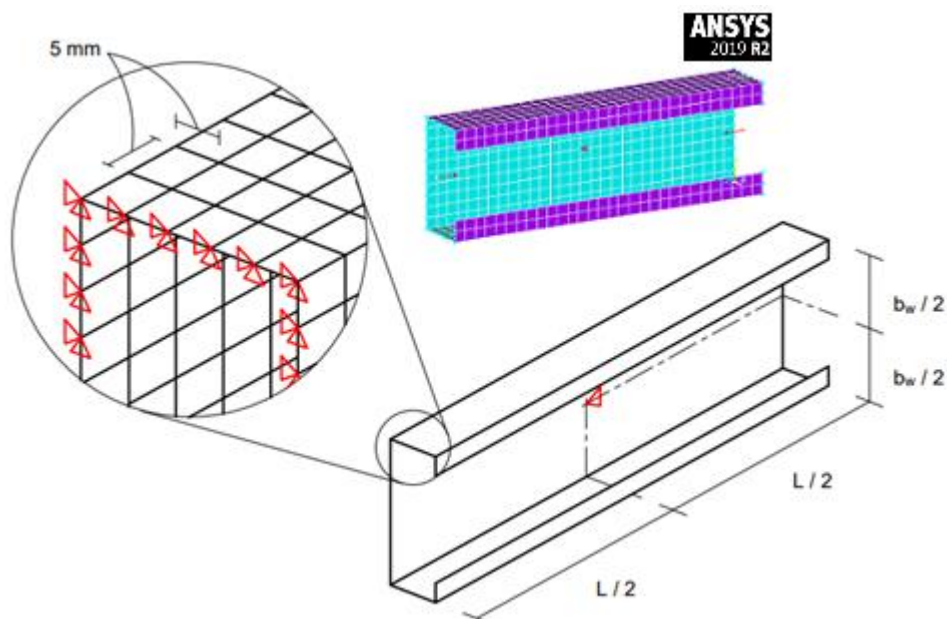


Figura 3. Restrições de deslocamentos aplicadas ao modelo de PFF de seção U enrijecido na compressão axial

2.4.2 Validação do modelo numérico

Como validação preliminar, foi separada uma amostra do conjunto de barras na compressão axial estudadas e os resultados da análise de flambagem (problema de autovalor) obtidos no modelo numérico do ANSYS foram comparados com os resultados equivalentes obtidos com auxílio do *software* FStr [9], que utiliza o método das faixas finitas (MFF) para solucionar o problema de flambagem. A Figura 4 apresenta o gráfico com os resultados obtidos.

Os resultados mostram que a carga crítica de flambagem obtida através do modelo do MEF no ANSYS apresenta boa concordância com os resultados fornecidos pelo *software* FStr. A diferença média entre esses resultados se encontra próxima de 3% e o desvio padrão é baixo

(0,01). Estes resultados sugerem que o modelo numérico pelo MEF pode ser considerado para as análises de identificação da flambagem.

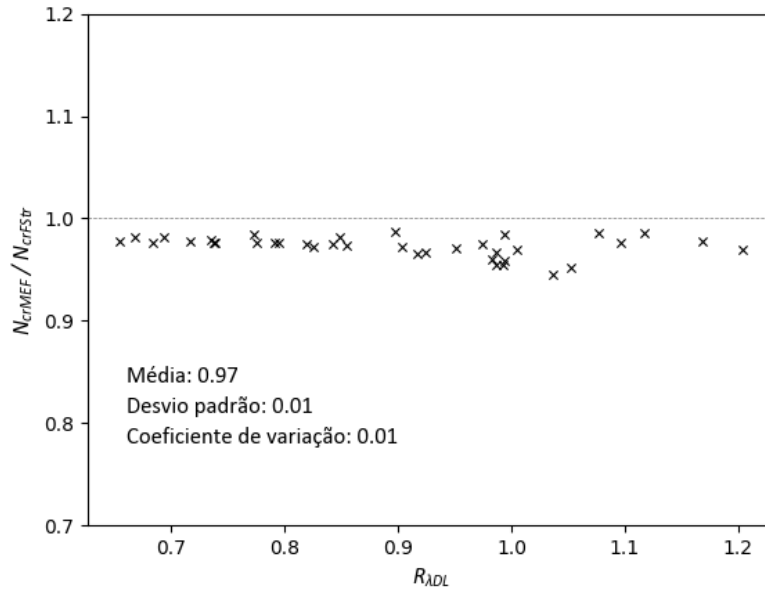


Figura 4. Comparação entre a carga crítica de flambagem obtida através do método dos elementos finitos com a carga crítica obtida através do método das faixas finitas

Para completar a validação do modelo numérico, é necessário verificar o resultado não linear do modelo. Neste trabalho, isso será realizado através de resultados experimentais obtidos por Salles [10], Kwon e Kancok [11], Young e Hasmussem [12], Young et al. [13] e Loughlan et al. [14]. A Tabela 1 apresentada as características e a resistência última obtida experimentalmente (N_{uExp}) para as barras na compressão axial dos autores citados e a resistência última obtida com auxílio do modelo numérico (N_{uMEF}) descrito em 2.4.1 (com adição de restrição nas rotações dos nós das seções das extremidades da barra para correspondência com o ensaio experimental). Adicionalmente, a Figura 5 apresenta a comparação gráfica entre os resultados experimentais da literatura e os resultados numéricos. A média e o desvio padrão da razão N_{uMEF}/N_{uExp} obtidos para o grupo de barras na compressão axial de validação foi, respectivamente, de 1,03 e 0,12. Com isso, os autores consideram o modelo adequado para a realização dos estudos a que se propõe a pesquisa.

Tabela 1. Características geométricas das barras na compressão axial utilizadas para validação do modelo numérico e resultados experimentais e numéricos (mm, mm², N)

Coluna	b_w	b_f	b_s	t	L	N_{uExp}	Ref.	N_{uMEF}	N_{uMEF} / N_{uExp}
1	109.6	102.9	10.7	1.10	2529.0	31500.0	Salles [10]	26565.4	0,84
2	103.1	103.9	10.4	1.10	2529.0	33400.0	Salles [10]	26872.1	0.80
3	108.8	102.9	10.5	1.10	2529.0	29000.0	Salles [10]	26635.1	0.92
4	120.8	89.7	7.0	1.10	400.0	51435.0	Know e Kanconk [11]	60208.8	1.17
5	97.6	48.7	11.9	1.47	1000.4	102300.0	Young e Rasmussem [12]	109406.6	1.07
6	96.5	48.9	12.6	1.46	1501.2	98600.0	Young e Rasmussem [12]	108284.9	1.10
7	101.4	52.8	19.3	2.43	616.0	254100.0	Young et al. [13]	277307.2	1.09
8	113.9	86.5	26.6	2.43	939.0	309100.0	Young et al. [13]	358522.8	1.16

9	120.4	89.6	7.0	1.10	600.0	53449.0	Know e Kanconk [11]	58489.8	1.09
10	151.0	57.0	10.6	0.96	1000.0	29500.0	Loughlan et al. [14]	30933.8	1.05
11	127.0	49.5	9.0	0.96	1000.0	29800.0	Loughlan et al. [14]	29185.9	0.98

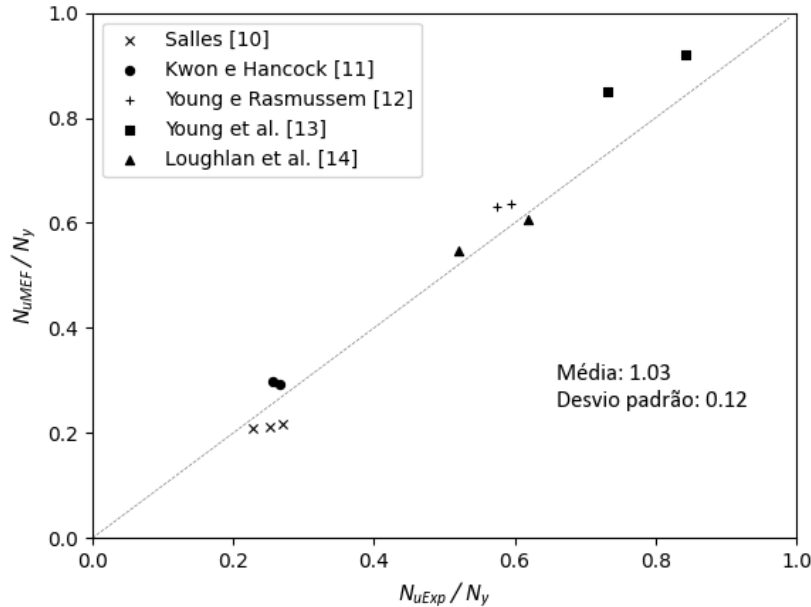


Figura 5. Comparação entre valores numéricos e experimentais para validação do modelo numérico

2.5 Procedimento de análise da confiabilidade

Para a análise de confiabilidade será empregado o método LFRD presente na norma norte americana para projetos de estruturas de perfis de aço formados a frio, AISI-S100-16 [8]. Para a obtenção da resistência através de ensaios (no presente estudo, trata-se de resultados numéricos obtidos pelo MEF), a referida norma define o fator de resistência Φ conforme a Equação 8. C_ϕ é o coeficiente de calibração definido como 1,52; M_m e V_M são, respectivamente, fator e coeficiente de variação relativo ao material (1,10 e 0,10 conforme a tabela K2.1.1-1 da norma americana); F_m e V_F são, respectivamente, fator e coeficiente de variação relativos à fabricação (1,00 e 0,05, conforme a tabela referenciada anteriormente); β_0 é a confiabilidade alvo e V_Q é o coeficiente de variação devido aos efeitos de carregamentos, definidos, respectivamente, como 2,5 e 0,21, conforme sugerido na norma. Por fim, P_m , V_P e C_P são, respectivamente, média, coeficiente de variação e fator de correção da razão entre os resultados obtidos numericamente e os resultados analíticos. O fator de correção depende do número de amostras n e é calculado conforme a Equação 9.

$$\Phi = C_\phi M_m F_m P_m e^{-\beta_0 \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + C_P V_P^2 + V_Q^2}} \quad (8)$$

$$C_p = \left(1 + \frac{1}{n}\right) \frac{n-1}{n-3} \quad \text{para } n \geq 4 \quad 9)$$

3 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados analíticos e numéricos de resistência última para as barras na compressão axial estão apresentados na Tabela 3 do anexo. Esses valores são analisados pelos seguintes aspectos: (i) confiabilidade do método atual adotado na NBR 14762:2010, com base no MRD e MSE (Equações 1, 2 e 3), por comparação com os resultados numéricos; e (ii) confiabilidade do método analítico proposto por Matsubara e Batista [5] (Equações 4, 5, 6 e 7), por comparação com os resultados numéricos. Para essas análises de confiabilidade será empregado o método LRFD, conforme apresentado na seção 2.5, Equações 8 e 9.

3.1.1 Resultados da análise de confiabilidade: MRD e MSE da NBR 14762:2010

A Figura 6 apresenta o gráfico da razão entre a resistência última numérica e a resistência última obtida seguindo os preceitos da NBR 14762 (N_{uFEM}/N_{cR}) versus a razão entre os índices de esbelteza relativa para os modos D e L de flambagem ($R_{\lambda DL} = \lambda_D/\lambda_L$), com destaque para o fato de $R_{\lambda DL}$ ser a variável principal do problema da flambagem LD. Em linha com o que foi observado por Matsubara e Batista [5], aproximadamente, na faixa de $R_{\lambda DL}$ variando de 0,45 a 1,05, observa-se na Figura 6 uma significativa redução de resistência das barras na compressão axial em relação aos resultados do MRD (N_{cR}), sendo esta erosão da resistência devida aos efeitos do modo LD. Os pontos são segmentados no gráfico por intervalos de índice de esbelteza ($\lambda = \lambda_{máxLD}$), o que mostra uma maior influência do modo LD na resistência (no sentido de redução) das colunas mais esbeltas. Esse comportamento também foi observado por Matsubara e Batista [5].

A partir da análise de confiabilidade pelo método LRFD, para os resultados incluídos no gráfico da Figura 5 na faixa de $R_{\lambda DL}$ variando de 0,45 a 1,05, obtém-se o fator de resistência $\phi = 0,89$, o qual, no formato de coeficiente de segurança da norma brasileira pode ser escrito como $\gamma = 1/\phi = 1/0,89 = 1,13$. Esse valor é inferior ao coeficiente de segurança sugerido na norma em questão ($\gamma = 1,13 < 1,2$), o que não põe em descrédito a confiabilidade do MRD e MSE para as barras na compressão axial estudadas mesmo com os efeitos do modo LD.

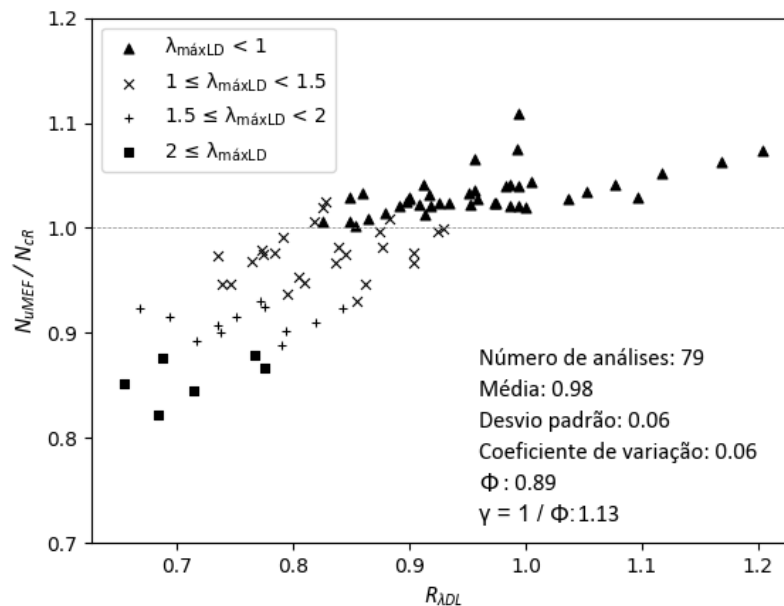


Figura 6. Comparação entre a carga última obtida na análise numérica com a carga última calculada através da ABNT NBR 14762:2010 (os resultados de confiabilidade referem-se apenas ao intervalo com possibilidade de interação LD: $0,45 \leq R_{\lambda DL} \leq 1,05$)

3.1.2 Resultados da análise de confiabilidade: método proposto por Matsubara e Batista [5]

A Figura 7 apresenta o gráfico com os resultados da razão entre a resistência última numérica (N_{uFEM}) e a resistência última obtida pelo método proposto por Matsubara e Batista (N_{CR}^*) versus $R_{\lambda DL}$. A partir do método LRFD obtém-se para os dados do gráfico na faixa de $R_{\lambda DL}$ variando de 0,45 a 1,05 $\Phi = 0,94$, o qual, no formato de coeficiente de segurança da norma brasileira pode ser escrito como $\gamma = 1/\Phi = 1/0,94 = 1,07$. Assim como para os resultados analíticos obtidos pelo MRD e MSE, o coeficiente de segurança é inferior ao coeficiente de segurança sugerido na norma ($\gamma = 1,07 < 1,20$).

Conforme apresentado na seção 2.5, o método proposto por Matsubara e Batista [5], baseado na metodologia original do MRD, estabelece uma superfície de resistência entre os casos com comportamento puro de flambagem L ($0,45 \leq R_{\lambda DL}$) e D ($R_{\lambda DL} \leq 1,05$). Assim, a Figura 8 apresenta o resultado da distribuição da resistência paramétrica das barras na compressão axial analisadas, para os casos seguintes: (i) MRD no modo L, Equação (1); (ii) MRD no modo D, Equação (2); e (iii) resultados do modelo do MEF. Observa-se na Figura 8 que, para a maioria das amostras, a resistência numérica encontra-se entre as duas curvas de resistência L e D, resultado que confirma, mais uma vez, a propriedade da proposta de Matsubara e Batista [5], de uma superfície suave para essa transição, que tem seus limites definidos por essas duas curvas.

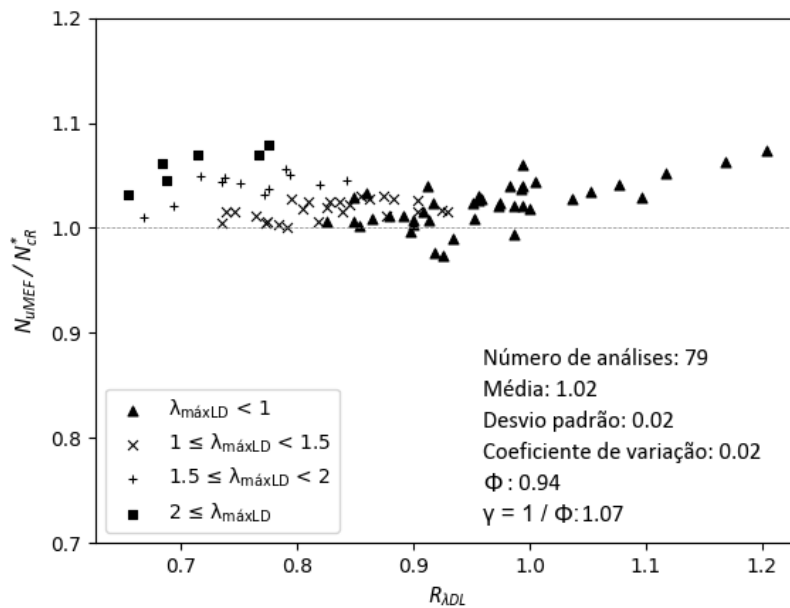


Figura 7. Comparação entre a carga última obtida na análise numérica com a carga última calculada através do método proposto por Matsubara e Batista [5] que considera o modo LD (os resultados de confiabilidade referem-se apenas ao intervalo com possibilidade de interação LD: $0,45 \leq R_{ADL} \leq 1,05$)

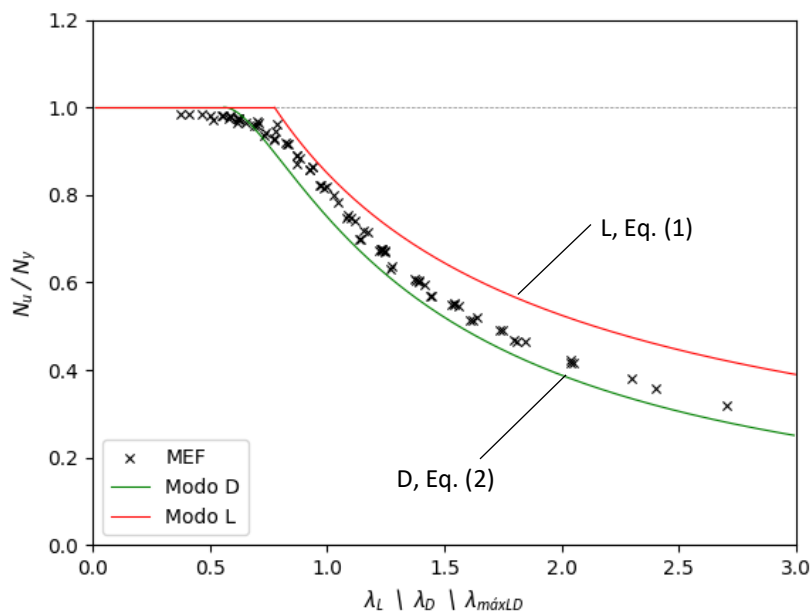


Figura 8. Comparação da resistência última (parametrizada com N_y) obtida numericamente com as curvas de resistência para os modos de flambagem individuais D e L (no eixo da abscissa considera-se λ_L para a curva do modo L; λ_D para a curva do modo D; e $\lambda_{máxLD}$ para os resultados numéricos).

4 CONCLUSÕES

O estudo realizado apresenta a solução proposta por Matsubara e Batista [8] para o caso de flambagem LD em PFF de aço com seção U enrijecido, submetidos à compressão axial. Os resultados foram obtidos com base em modelo numérico do MEF, formulado para a análise não linear completa e calibrado frente a resultados experimentais. O estudo incluiu colunas previstas para uso regular, conforme indicado na norma NBR 6355:2012, considerando-se aço de padrão corrente (padrão ASTM A 572 grau 50).

Os resultados das análises de confiabilidade (LRFD) indicaram que a proposta de Matsubara e Batista para o modo LD conduzem ao aprimoramento do dimensionamento dos perfis U_e na compressão axial: fator de resistência de 0,89 e 0,94 para, respectivamente, o procedimento da norma e para o procedimento proposto por Matsubara e Batista [5], representando uma melhoria de 6%. Adicionalmente, a aplicação do método proposto inclui, de forma automática, as soluções prescritas na NBR 14762:2010 para os casos de flambagem G, LG e D, com a discriminação dos casos relevantes de flambagem LD identificados pela variável $R_{\lambda DL}$.

Finalmente, a aplicação da metodologia proposta para considerar o modo LD revelou-se simples, conservando as premissas e variáveis usuais adotadas nos métodos da resistência direta e das seções efetivas incluídas na versão atual na NBR 14762.

Agradecimentos

O primeiro autor presta agradecimentos ao Programa de Engenharia Civil da COPPE, UFRJ, pelo apoio à pesquisa de mestrado desenvolvida no Laboratório de Estruturas e Materiais Professor Fernando Lobo Carneiro, LABEST.

5 REFERÊNCIAS

- [1] NBR 14762 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, ABNT, Rio de Janeiro, Brasil, 2010.
- [2] B.W. Schafer, T. Peköz, Direct strength prediction of cold-formed steel members using numerical elastic buckling solutions, in: Fourteenth Int. Spec. Conf. Cold-Formed Steel Struct. St. Louis, Missouri, USA, 1988, pp. 1–8.
- [3] E.M. Batista, Effective section method: a general direct method for the design of steel cold-formed members under local-global buckling interaction. *Thin-Walled Structures*, v. 48, 2010: 345-356.
- [4] G.Y. Matsubara, E.M. Batista, G.C. Salles, Lipped channel cold-formed steel columns under local-distortional buckling mode interaction, *Thin-Walled Struct.* 137, 2019: 251–270.
- [5] G.Y. Matsubara, E.M. Batista. Local-distortional buckling mode of steel cold-formed columns: Generalized direct strength design approach. *Thin-Walled Struct.*, 183, 2023: 110356.



- [6] NBR 6355 – Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização, ABNT, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.
- [7] ANSYS, Inc., ANSYS APDL Theory Reference, Release 15.0, Canonsburg, PA, 2013.
- [8] North American Specification (NAS) for the Design of Cold-formed Steel Structural Members (AISI-S100-16), American Iron and Steel Institute (AISI), Washington DC, USA, 2016.
- [9] J.A. Lazzari, E.M. Batista, Finite strip method computer application for buckling analysis of thin-walled structures with arbitrary cross-sections, REM - Int. Eng. J. 74, 2021.
- [10] G.C. Salles, Investigação analítica, numérica e experimental do modo de flambagem distorcional em perfis formados a frio. Dissertação de mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, UFRJ, 2017.
- [11] Y.B. Kwon, G.J. Hancock, Tests of cold-formed channels with local and distortional buckling, J. Struct. Eng. 118, 1992.
- [12] B. Young, K.J.R. Rasmussen, Design of lipped channel columns, J. Struct. Eng. 124, 1998.
- [13] B. Young, N. Silvestre, D. Camotim, Cold-formed steel lipped channel columns influenced by local-distortional interaction: strength and DSM design, J. Struct. Eng. 139, 2013.
- [14] J. Loughlan, N. Yidris, K. Jones, The failure of thin-walled lipped channel compression members due to coupled local-distortional interactions and material yielding, Thin-Walled Struct. 61, 2012.

Anexo

Tabela 2. Características geométricas do conjunto de PFF de seção U enrijecido (U_e), obtidos na norma NBR 6355:2012, considerados para as análises na compressão axial (mm, mm²): FT - flexo-torção, F - flexão

Coluna	b_w	b_f	b_s	t	b_f/b_w	b_s/b_w	A	L	λ_L	λ_D	λ_G	modo G	$\lambda_G/\lambda_{máxLD}$	$R_{\lambda DL}$
1	50,0	25,0	10,0	1,20	0,50	0,20	135,0	150,0	0,8	0,7	0,3	FT	0,33	0,90
2	50,0	25,0	10,0	1,50	0,50	0,20	165,0	100,0	0,6	0,6	0,2	FT	0,28	0,97
3	50,0	25,0	10,0	2,00	0,50	0,20	214,0	100,0	0,5	0,5	0,2	FT	0,35	1,08
4	50,0	25,0	10,0	2,25	0,50	0,20	237,0	100,0	0,4	0,5	0,2	FT	0,38	1,12
5	50,0	25,0	10,0	2,65	0,50	0,20	272,0	100,0	0,4	0,4	0,2	FT	0,43	1,17
6	50,0	25,0	10,0	3,00	0,50	0,20	301,0	100,0	0,3	0,4	0,2	FT	0,47	1,20
7	75,0	40,0	15,0	1,20	0,53	0,20	213,0	300,0	1,2	0,9	0,3	FT	0,29	0,77
8	75,0	40,0	15,0	1,50	0,53	0,20	263,0	300,0	0,9	0,8	0,3	FT	0,36	0,85
9	75,0	40,0	15,0	2,00	0,53	0,20	344,0	225,0	0,7	0,7	0,3	FT	0,36	0,95
10	75,0	40,0	15,0	2,25	0,53	0,20	383,0	150,0	0,6	0,6	0,2	FT	0,27	0,99
11	75,0	40,0	15,0	2,65	0,53	0,20	444,0	150,0	0,5	0,6	0,2	FT	0,31	1,05
12	75,0	40,0	15,0	3,00	0,53	0,20	496,0	150,0	0,5	0,5	0,2	FT	0,33	1,10
13	100,0	40,0	17,0	1,20	0,40	0,17	247,0	400,0	1,5	1,0	0,4	FT	0,25	0,67
14	100,0	40,0	17,0	1,50	0,40	0,17	306,0	400,0	1,2	0,9	0,4	FT	0,31	0,73
15	100,0	40,0	17,0	2,00	0,40	0,17	402,0	300,0	0,9	0,8	0,3	FT	0,31	0,83
16	100,0	40,0	17,0	2,25	0,40	0,17	448,0	300,0	0,8	0,7	0,3	FT	0,35	0,85
17	100,0	40,0	17,0	2,65	0,40	0,17	521,0	200,0	0,7	0,6	0,2	FT	0,27	0,91
18	100,0	40,0	17,0	3,00	0,40	0,17	583,0	200,0	0,6	0,6	0,2	FT	0,31	0,96
19	100,0	40,0	17,0	3,35	0,40	0,17	643,0	200,0	0,6	0,5	0,2	FT	0,35	0,99
20	100,0	50,0	17,0	1,20	0,50	0,17	271,0	400,0	1,6	1,1	0,4	FT	0,23	0,69
21	100,0	50,0	17,0	1,50	0,50	0,17	336,0	400,0	1,2	1,0	0,4	FT	0,29	0,76
22	100,0	50,0	17,0	2,00	0,50	0,17	442,0	400,0	0,9	0,8	0,4	FT	0,38	0,86
23	100,0	50,0	17,0	2,25	0,50	0,17	493,0	300,0	0,8	0,7	0,3	FT	0,32	0,90
24	100,0	50,0	17,0	2,65	0,50	0,17	574,0	300,0	0,7	0,7	0,3	FT	0,38	0,96
25	100,0	50,0	17,0	3,00	0,50	0,17	643,0	200,0	0,6	0,6	0,2	FT	0,29	1,00
26	100,0	50,0	17,0	3,35	0,50	0,17	710,0	200,0	0,6	0,6	0,2	FT	0,31	1,04
27	125,0	50,0	17,0	2,00	0,40	0,14	492,0	500,0	1,2	0,9	0,4	FT	0,34	0,79
28	125,0	50,0	17,0	2,25	0,40	0,14	549,0	500,0	1,0	0,9	0,4	FT	0,39	0,83
29	125,0	50,0	17,0	2,65	0,40	0,14	640,0	375,0	0,9	0,8	0,3	FT	0,34	0,88
30	125,0	50,0	17,0	3,00	0,40	0,14	718,0	250,0	0,8	0,7	0,2	FT	0,26	0,92
31	125,0	50,0	17,0	3,35	0,40	0,14	794,0	250,0	0,7	0,7	0,2	FT	0,29	0,95
32	125,0	50,0	17,0	3,75	0,40	0,14	879,0	250,0	0,6	0,6	0,2	FT	0,33	0,99
33	150,0	60,0	20,0	2,00	0,40	0,13	594,0	600,0	1,4	1,0	0,4	FT	0,29	0,74
34	150,0	60,0	20,0	2,25	0,40	0,13	664,0	600,0	1,2	1,0	0,4	FT	0,32	0,77
35	150,0	60,0	20,0	2,65	0,40	0,13	775,0	600,0	1,0	0,9	0,4	FT	0,38	0,83
36	150,0	60,0	20,0	3,00	0,40	0,13	871,0	450,0	0,9	0,8	0,3	FT	0,33	0,86
37	150,0	60,0	20,0	3,35	0,40	0,13	965,0	450,0	0,8	0,7	0,3	FT	0,36	0,90
38	150,0	60,0	20,0	3,75	0,40	0,13	1070,0	300,0	0,7	0,7	0,2	FT	0,27	0,93
39	150,0	60,0	20,0	4,25	0,40	0,13	1199,0	300,0	0,7	0,6	0,2	FT	0,31	0,97
40	150,0	60,0	20,0	4,75	0,40	0,13	1324,0	300,0	0,6	0,6	0,2	FT	0,35	1,01
41	200,0	75,0	20,0	2,00	0,38	0,10	754,0	800,0	1,8	1,3	0,4	FT	0,23	0,72
42	200,0	75,0	20,0	2,25	0,38	0,10	844,0	800,0	1,6	1,2	0,4	FT	0,26	0,75
43	200,0	75,0	25,0	2,65	0,38	0,13	1014,0	800,0	1,4	1,0	0,4	FT	0,30	0,75
44	200,0	75,0	25,0	3,00	0,38	0,13	1141,0	800,0	1,2	1,0	0,4	FT	0,34	0,78
45	200,0	75,0	25,0	3,35	0,38	0,13	1266,0	800,0	1,1	0,9	0,4	FT	0,38	0,82
46	200,0	75,0	25,0	3,75	0,38	0,13	1408,0	600,0	1,0	0,8	0,3	FT	0,32	0,85
47	200,0	75,0	25,0	4,25	0,38	0,13	1581,0	600,0	0,9	0,8	0,3	FT	0,36	0,89
48	200,0	75,0	25,0	4,75	0,38	0,13	1752,0	400,0	0,8	0,7	0,2	FT	0,27	0,93

49	200,0	75,0	30,0	6,30	0,38	0,15	2322,0	400,0	0,6	0,6	0,2	FT	0,35	0,98
50	200,0	100,0	25,0	2,65	0,50	0,13	1146,0	800,0	1,4	1,1	0,4	FT	0,27	0,80
51	200,0	100,0	25,0	3,00	0,50	0,13	1291,0	800,0	1,2	1,0	0,4	FT	0,30	0,84
52	200,0	100,0	25,0	3,35	0,50	0,13	1434,0	800,0	1,1	1,0	0,4	FT	0,34	0,87
53	200,0	100,0	25,0	3,75	0,50	0,13	1595,0	800,0	1,0	0,9	0,4	FT	0,38	0,91
54	200,0	100,0	25,0	4,25	0,50	0,13	1794,0	600,0	0,9	0,8	0,3	FT	0,32	0,96
55	200,0	100,0	25,0	4,75	0,50	0,13	1989,0	600,0	0,8	0,8	0,3	FT	0,36	0,99
56	250,0	85,0	25,0	2,00	0,34	0,10	914,0	1000,0	2,3	1,5	0,4	FT	0,20	0,65
57	250,0	85,0	25,0	2,25	0,34	0,10	1024,0	1000,0	2,0	1,4	0,4	FT	0,22	0,69
58	250,0	85,0	25,0	2,65	0,34	0,10	1199,0	1000,0	1,7	1,3	0,5	FT	0,26	0,73
59	250,0	85,0	25,0	3,00	0,34	0,10	1351,0	1000,0	1,5	1,2	0,5	FT	0,29	0,77
60	250,0	85,0	25,0	3,35	0,34	0,10	1501,0	1000,0	1,4	1,1	0,5	FT	0,33	0,80
61	250,0	85,0	25,0	3,75	0,34	0,10	1670,0	1000,0	1,2	1,0	0,5	FT	0,37	0,84
62	250,0	85,0	25,0	4,25	0,34	0,10	1879,0	750,0	1,1	0,9	0,3	FT	0,32	0,88
63	250,0	85,0	25,0	4,75	0,34	0,10	2084,0	750,0	1,0	0,9	0,3	FT	0,35	0,91
64	250,0	85,0	25,0	6,30	0,34	0,10	2700,0	500,0	0,7	0,7	0,2	FT	0,32	0,99
65	250,0	100,0	25,0	2,65	0,40	0,10	1279,0	1000,0	1,7	1,3	0,4	FT	0,24	0,74
66	250,0	100,0	25,0	3,00	0,40	0,10	1441,0	1000,0	1,5	1,2	0,4	FT	0,27	0,78
67	250,0	100,0	25,0	3,35	0,40	0,10	1601,0	1000,0	1,4	1,1	0,4	FT	0,30	0,81
68	250,0	100,0	25,0	3,75	0,40	0,10	1783,0	1000,0	1,2	1,0	0,4	FT	0,34	0,84
69	250,0	100,0	25,0	4,25	0,40	0,10	2006,0	1000,0	1,1	1,0	0,4	FT	0,39	0,88
70	250,0	100,0	25,0	4,75	0,40	0,10	2227,0	750,0	1,0	0,9	0,3	FT	0,33	0,92
71	300,0	85,0	25,0	2,00	0,28	0,08	1014,0	1200,0	2,7	1,9	0,5	F	0,19	0,68
72	300,0	85,0	25,0	2,25	0,28	0,08	1137,0	1200,0	2,4	1,7	0,5	F	0,22	0,71
73	300,0	85,0	25,0	2,65	0,28	0,08	1332,0	1200,0	2,0	1,6	0,5	F	0,26	0,77
74	300,0	85,0	25,0	3,00	0,28	0,08	1501,0	1200,0	1,8	1,4	0,5	F	0,30	0,79
75	300,0	85,0	25,0	3,35	0,28	0,08	1668,0	1200,0	1,6	1,4	0,5	F	0,33	0,84
76	300,0	85,0	25,0	3,75	0,28	0,08	1858,0	1200,0	1,4	1,2	0,5	F	0,37	0,86
77	300,0	85,0	25,0	4,25	0,28	0,08	2091,0	900,0	1,3	1,1	0,4	F	0,32	0,90
78	300,0	85,0	25,0	4,75	0,28	0,08	2322,0	900,0	1,1	1,1	0,4	F	0,36	0,93
79	300,0	85,0	25,0	6,30	0,28	0,08	3015,0	600,0	0,9	0,9	0,3	F	0,33	0,99
80	300,0	100,0	25,0	2,65	0,33	0,08	1411,0	1200,0	2,1	1,6	0,5	FT	0,23	0,78
81	300,0	100,0	25,0	3,00	0,33	0,08	1591,0	1200,0	1,8	1,4	0,5	FT	0,26	0,79
82	300,0	100,0	25,0	3,35	0,33	0,08	1769,0	1200,0	1,6	1,3	0,5	FT	0,29	0,82
83	300,0	100,0	25,0	3,75	0,33	0,08	1970,0	1200,0	1,4	1,2	0,5	FT	0,32	0,85
84	300,0	100,0	25,0	4,25	0,33	0,08	2219,0	1200,0	1,3	1,2	0,5	FT	0,37	0,90
85	300,0	100,0	25,0	4,75	0,33	0,08	2464,0	900,0	1,1	1,1	0,4	FT	0,31	0,92

Tabela 3. Resultados da resistência na compressão axial para o grupo de PFF incluídos na Tabela 2: métodos analíticos descritos nas seções 2.2 e 2.3, N_{CR} e N_{CR}^* , e do modelo numérico N_{UMEF} , (mm, kN)

Coluna	N_{CR}	N_{CR}^*	N_{UMEF}	N_{CR}^*/N_{CR}	N_{UMEF}/N_{CR}	N_{UMEF}/N_{CR}^*
1 - 50 x 25 x 10 x 1,20	44,0	45,3	45,1	1,03	1,02	1,00
2 - 50 x 25 x 10 x 1,5	56,2	56,2	57,5	1,00	1,02	1,02
3 - 50 x 25 x 10 x 2,0	72,9	72,9	75,9	1,00	1,04	1,04
4 - 50 x 25 x 10 x 2,25	80,7	80,7	84,9	1,00	1,05	1,05
5 - 50 x 25 x 10 x 2,65	92,6	92,6	98,5	1,00	1,06	1,06
6 - 50 x 25 x 10 x 3,00	102,5	102,5	110,1	1,00	1,07	1,07
7 - 75 x 40 x 15 x 1,20	54,4	53,0	53,2	0,97	0,98	1,00
8 - 75 x 40 x 15 x 1,50	77,8	77,8	80,1	1,00	1,03	1,03
9 - 75 x 40 x 15 x 2,00	114,4	115,5	118,2	1,01	1,03	1,02
10 - 75 x 40 x 15 x 2,25	128,5	128,5	133,2	1,00	1,04	1,04
11 - 75 x 40 x 15 x 2,65	151,3	151,3	156,4	1,00	1,03	1,03
12 - 75 x 40 x 15 x 3,00	169,0	169,0	174,0	1,00	1,03	1,03
13 - 100 x 40 x 17 x 1,20	51,8	47,4	47,8	0,91	0,92	1,01
14 - 100 x 40 x 17 x 1,50	74,9	72,5	72,9	0,97	0,97	1,00
15 - 100 x 40 x 17 x 2,00	121,1	121,1	121,9	1,00	1,01	1,01
16 - 100 x 40 x 17 x 2,25	145,5	145,5	146,5	1,00	1,01	1,01
17 - 100 x 40 x 17 x 2,65	176,1	177,0	178,4	1,01	1,01	1,01
18 - 100 x 40 x 17 x 3,00	198,0	198,0	203,6	1,00	1,03	1,03
19 - 100 x 40 x 17 x 3,35	218,4	218,4	227,1	1,00	1,04	1,04
20 - 100 x 50 x 17 x 1,20	56,7	50,9	51,9	0,90	0,92	1,02
21 - 100 x 50 x 17 x 1,50	82,0	78,5	79,4	0,96	0,97	1,01
22 - 100 x 50 x 17 x 2,00	130,6	130,6	134,8	1,00	1,03	1,03
23 - 100 x 50 x 17 x 2,25	155,6	159,5	160,0	1,03	1,03	1,00
24 - 100 x 50 x 17 x 2,65	190,2	192,1	197,1	1,01	1,04	1,03
25 - 100 x 50 x 17 x 3,00	218,7	218,8	222,9	1,00	1,02	1,02
26 - 100 x 50 x 17 x 3,35	241,6	241,6	248,4	1,00	1,03	1,03
27 - 125 x 50 x 17 x 2,00	125,2	124,1	124,2	0,99	0,99	1,00
28 - 125 x 50 x 17 x 2,25	151,1	151,1	155,0	1,00	1,03	1,03
29 - 125 x 50 x 17 x 2,65	199,2	199,7	201,9	1,00	1,01	1,01
30 - 125 x 50 x 17 x 3,00	233,0	238,5	237,8	1,02	1,02	1,00
31 - 125 x 50 x 17 x 3,35	265,7	269,3	271,8	1,01	1,02	1,01
32 - 125 x 50 x 17 x 3,75	298,1	298,1	304,4	1,00	1,02	1,02
33 - 150 x 60 x 20 x 2,00	133,5	124,4	126,3	0,93	0,95	1,02
34 - 150 x 60 x 20 x 2,25	161,7	156,7	157,7	0,97	0,97	1,01
35 - 150 x 60 x 20 x 2,65	210,7	210,7	214,7	1,00	1,02	1,02
36 - 150 x 60 x 20 x 3,00	261,8	261,8	264,1	1,00	1,01	1,01
37 - 150 x 60 x 20 x 3,35	305,2	311,1	313,6	1,02	1,03	1,01
38 - 150 x 60 x 20 x 3,75	350,9	362,9	359,2	1,03	1,02	0,99
39 - 150 x 60 x 20 x 4,25	405,7	406,6	415,1	1,00	1,02	1,02
40 - 150 x 60 x 20 x 4,75	448,9	448,9	468,7	1,00	1,04	1,04
41 - 200 x 75 x 20 x 2,00	137,7	117,1	122,8	0,85	0,89	1,05
42 - 200 x 75 x 20 x 2,25	167,5	147,1	153,4	0,88	0,92	1,04
43 - 200 x 75 x 25 x 2,65	226,6	211,3	214,5	0,93	0,95	1,02
44 - 200 x 75 x 25 x 3,00	277,5	269,8	270,8	0,97	0,98	1,00
45 - 200 x 75 x 25 x 3,35	331,7	331,7	333,7	1,00	1,01	1,01
46 - 200 x 75 x 25 x 3,75	405,8	405,8	406,7	1,00	1,00	1,00
47 - 200 x 75 x 25 x 4,25	489,5	494,0	499,5	1,01	1,02	1,01
48 - 200 x 75 x 25 x 4,75	564,3	593,4	577,4	1,05	1,02	0,97
49 - 200 x 75 x 30 x 6,30	787,3	787,3	818,2	1,00	1,04	1,04
50 - 200 x 100 x 25 x 2,65	255,7	233,3	239,6	0,91	0,94	1,03
51 - 200 x 100 x 25 x 3,00	313,7	295,9	303,4	0,94	0,97	1,03

52 - 200 x 100 x 25 x 3,35	375,4	363,3	374,2	0,97	1,00	1,03
53 - 200 x 100 x 25 x 3,75	443,4	443,8	461,4	1,00	1,04	1,04
54 - 200 x 100 x 25 x 4,25	527,2	544,8	561,4	1,03	1,06	1,03
55 - 200 x 100 x 25 x 4,75	611,9	639,8	678,5	1,05	1,11	1,06
56 - 250 x 85 x 25 x 2,00	141,8	117,1	120,9	0,83	0,85	1,03
57 - 250 x 85 x 25 x 2,25	173,1	145,0	151,6	0,84	0,88	1,05
58 - 250 x 85 x 25 x 2,65	227,9	198,0	206,7	0,87	0,91	1,04
59 - 250 x 85 x 25 x 3,00	280,2	252,8	260,9	0,90	0,93	1,03
60 - 250 x 85 x 25 x 3,35	336,2	314,8	320,6	0,94	0,95	1,02
61 - 250 x 85 x 25 x 3,75	404,0	390,1	396,3	0,97	0,98	1,02
62 - 250 x 85 x 25 x 4,25	506,7	492,0	497,5	0,97	0,98	1,01
63 - 250 x 85 x 25 x 4,75	594,6	598,6	607,6	1,01	1,02	1,01
64 - 250 x 85 x 25 x 6,30	869,7	911,1	905,3	1,05	1,04	0,99
65 - 250 x 100 x 25 x 2,65	243,5	209,1	219,3	0,86	0,90	1,05
66 - 250 x 100 x 25 x 3,00	299,5	267,1	277,0	0,89	0,92	1,04
67 - 250 x 100 x 25 x 3,35	359,3	332,3	340,8	0,92	0,95	1,03
68 - 250 x 100 x 25 x 3,75	432,3	412,1	421,4	0,95	0,97	1,02
69 - 250 x 100 x 25 x 4,25	529,1	519,5	533,8	0,98	1,01	1,03
70 - 250 x 100 x 25 x 4,75	627,6	632,2	647,2	1,01	1,03	1,02
71 - 300 x 85 x 25 x 2,00	137,0	106,1	112,6	0,77	0,82	1,06
72 - 300 x 85 x 25 x 2,25	167,5	132,4	141,5	0,79	0,85	1,07
73 - 300 x 85 x 25 x 2,65	220,9	181,4	194,1	0,82	0,88	1,07
74 - 300 x 85 x 25 x 3,00	272,0	233,4	245,3	0,86	0,90	1,05
75 - 300 x 85 x 25 x 3,35	326,6	288,5	301,5	0,88	0,92	1,05
76 - 300 x 85 x 25 x 3,75	393,0	361,7	371,8	0,92	0,95	1,03
77 - 300 x 85 x 25 x 4,25	482,0	458,9	466,0	0,95	0,97	1,02
78 - 300 x 85 x 25 x 4,75	574,2	564,7	573,4	0,98	1,00	1,02
79 - 300 x 85 x 25 x 6,30	870,6	902,2	935,7	1,04	1,07	1,04
80 - 300 x 100 x 25 x 2,65	236,6	190,1	205,0	0,80	0,87	1,08
81 - 300 x 100 x 25 x 3,00	291,8	245,7	259,4	0,84	0,89	1,06
82 - 300 x 100 x 25 x 3,35	351,0	306,5	319,2	0,87	0,91	1,04
83 - 300 x 100 x 25 x 3,75	423,3	382,3	393,8	0,90	0,93	1,03
84 - 300 x 100 x 25 x 4,25	509,6	484,7	497,6	0,95	0,98	1,03
85 - 300 x 100 x 25 x 4,75	610,8	598,8	608,5	0,98	1,00	1,02