

Avaliação dos procedimentos simplificados para flambagem elástica de perfis U enrijecidos de paredes finas

Neves, N. S.^{1*}

¹COPPE, Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

*natansian@ufrj.br

Resumo

A aplicação de perfis formados a frio em projetos e dimensionamento de estruturas torna-se cada vez mais usual na engenharia. Esses tipos de elementos estruturais apresentam comportamentos físicos suscetíveis aos fenômenos de instabilidade global, local e distorcional. Sendo assim, o presente artigo apresenta um estudo introdutório acerca dos procedimentos simplificados para a estimativa da força axial de flambagem elástica de perfis U enrijecidos de paredes finas. Os testes numéricos são direcionados a partir dos resultados obtidos com o emprego do programa de análise computacional avançada, GBTul, fundamentado na formulação da teoria generalizada de vigas, e com os métodos simplificados descritos na NBR 14762. Em síntese, as discussões são realizadas em torno da análise da curva de assinatura do perfil U_e , das participações dos modos de flambagem associado ao comportamento da estrutura estudada e pelas comparações quantitativas entre as estratégias utilizadas.

Palavras-chave: Flambagem elástica, NBR 14762, Perfil formado a frio, Estabilidade.

1 Introdução

As estruturas de aço formadas a frio estão sendo bastante utilizadas na construção civil devido ao fácil processo de fabricação e instalação, resultando em elementos estruturais esbeltos, leves e com baixo custo. Todavia, no ponto de vista da análise e dimensionamento estrutural, esses elementos quando submetidos à compressão possibilitam a ocorrência de fenômenos de instabilidades locais, globais e distorcionais, onde devem ser verificadas durante a elaboração dos projetos dessas estruturas [1].

2 Procedimentos Analíticos

A força axial de flambagem global elástica por flexão na maior/menor inércia é determinada pela expressão clássica de Euler, conforme dado a seguir:

$$N_g = \frac{\pi^2 EI}{(\kappa \ell_e)^2} \quad (1)$$

Em que E é o módulo de elasticidade, I é o momento de inércia e o coeficiente κ depende do tipo de vinculação utilizada na estrutura.

De acordo com ABNT NBR 14762:2010 [2], a força axial de flambagem elástica local para um elemento submetido à compressão, com base nos princípios da teoria de estabilidade de placas finas [5], é dada a seguir:

$$N_l = k_l \frac{\pi^2 EA}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b_w} \right)^2 \quad (2)$$

Onde A é a área e ν é o coeficiente de Poisson, igual a 0,3. Os valores do coeficiente de flambagem local para a seção completa, k_l , assumem diferentes valores dependendo do tipo de seção. Para uma seção de aço do tipo U

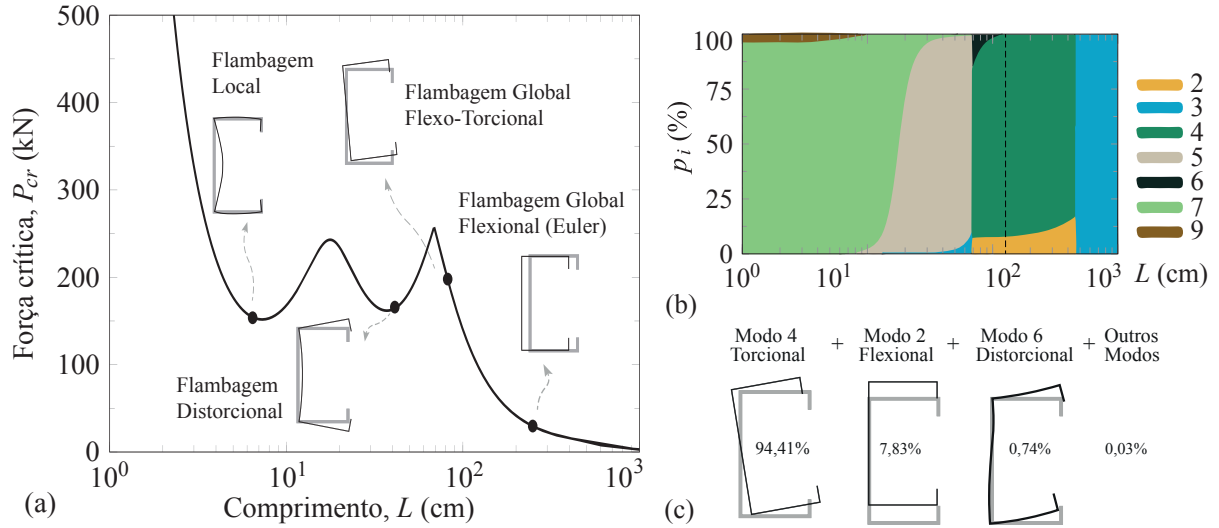


Figura 1: (a) Curva de assinatura do perfil Ue 90×50×12×1,8 mm, (b) interação entre modos de flambagem e (c) participação modal para $L = 130$ cm.

enrijecido, vale a expressão abaixo:

$$k_l = 6,8 - 5,8\eta + 9,2\eta^2 - 6,0\eta^3 \quad (3)$$

Onde b_f , b_w , b_s e D são as dimensões nominais dos elementos e $\eta = b_f/b_w$. A equação (3) é válida para o intervalo de $0,1 \leq \eta \leq 1,0$ e $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$.

O fenômeno de flambagem distorcional apresenta uma modelagem robusta, não contendo expressões simples e diretas como os casos de flambagem local e global. Sendo assim, Lau e Hancock [3] desenvolveram um modelo analítico para cálculo da tensão crítica elástica para modo de flambagem distorcional, σ_{dist} . A tensão de flambagem elástica por distorção é modelada pela expressão matemática a seguir.

$$\sigma_{dist} = \frac{0,5E}{A_d} \left[\alpha_{12} - \sqrt{(\alpha_{12})^2 - 4\alpha_3} \right] \quad (4)$$

Em que $\alpha_{12} = \alpha_1 + \alpha_2$ e as expressões expandidas dos coeficientes da Equação (4) são encontrados no Anexo D: Flambagem por distorção da seção transversal - ABNT NBR 14762:2001 [4]. Outro fator que deve ser observado na análise da flambagem por distorção é o limite de validade da expressão normativa, ou seja, $0,4 < b_f/b_w < 2,0$. Para perfis fora dessa faixa é necessário empregar métodos mais precisos.

3 Resultados e Discussões

As dimensões e o carregamento de compressão aplicado no perfil formado a frio de seção Ue é mostrado na Figura 2. A primeira análise é determinar a curva de assinatura, conforme Figura 1(a), obtido com programa GBTul [6].

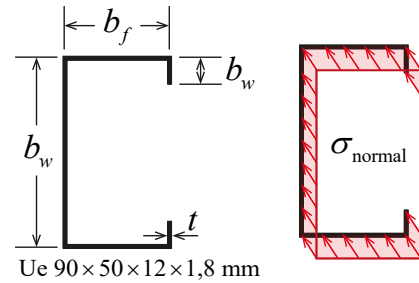


Figura 2: Características da seção de aço do perfil Ue.

Simplificadamente, a curva de assinatura é dividida em três ramos de comportamento relacionados a cada modo flambagem e o comprimento do perfil. Os elementos estruturais curtos são direcionados para a flambagem local, enquanto comprimento intermediários correspondem ao modo distorcional, e por fim, para grandes comprimentos tem-se a ocorrência da flambagem global.

A curva de assinatura de um elemento sujeito à compressão uniforme apresenta características importantes para análise e dimensionamento estrutural. Os pontos mínimos na

curva $L-P_{cr}$ correspondentes à flambagem local e distorcional, estabelecendo o valor da força de flambagem elástica local, N_{ℓ} , e distorcional, N_{dist} , as quais podem ser utilizadas nos procedimentos normativos, como no método da resistência direta (MRD). A força de flambagem global dependem do comprimento do perfil e são obtidas pelas teorias clássicas da estabilidade estrutural.

Na elaboração e desenvolvimento de projetos, as dimensões, comprimentos e características dos elementos variam com os requisitos solicitados. Neste contexto, na curva de assinatura é possível verificar as contribuições entre os efeitos dos modos em cada faixa de comprimento. Contudo, para facilitar a visualização da participação dos modos de flambagem correspondentes a cada comprimento, apresenta-se na Figura 1(b), um esquema ilustrativo dos percentuais de cada modo.

No programa GBTul, os modos 1-4 são globais, 5-6 são distorcionais e os demais são classificados como locais. Nos comprimentos iniciais, o modo 7 apresenta as maiores participações, enquanto para comprimentos entre o intervalo de 10^1 e 10^2 cm, tem-se uma predominância do modo 5. Para valores próximos ou maiores de 10^2 cm, os modos globais apresentam maiores participações.

Quando analisa-se o comprimento proposto de $L = 130$ cm, linha tracejada na Figura 1(b), pode-se observar que esse comprimento encontra-se no ramo da flambagem global e a maior contribuição é devido ao modo 4. Com base nesses dados, pode-se afirmar que para o referido comprimento adotado, o perfil Ue apresenta um modo crítico de flambagem do tipo flexo-torcional.

Tabela 1: Forças críticas de flambagem elástica global, local e distorcional, em kN.

Método	Global	Local	Distorcional
NBR 14762	88,3	153,83	163,38
GBTul	87,5	151,98	163,12
Δ (%)	0,94	1,21	0,16

Para facilitar a visualização dos resultados, apresenta-se na Figura 1(c) os modos de flambagem com suas respectivas deformadas e percentuais de contribuição para comprimento testado.

Além disso, conforme apresentado anteriormente, nos métodos normativos descritos na NBR 14762 [2], usualmente é necessário determinar a força de flambagem elástica global, local e distorcional. Esse procedimento pode ser efetuado com as expressões analíticas com base na teoria da estabilidade elástica ou com auxílio de métodos avançados computacionais. Na Tabela 1, mostra-se os valores obtidos para as forças críticas e o erro percentual em comparação com as expressões normativas.

4 Conclusão

Esse artigo apresenta um noção introdutório sobre os procedimentos de cálculo para análise de perfis formados a frio. As forças críticas elásticas calculados por meio dos procedimentos simplificados forneceram resultados semelhantes com o programa de referência para o perfil Ue analisado. Além disso, dependendo do comprimento do perfil formado a frio e das características da seção, podem ocorrer comportamentos críticos associados a participação de determinados modos de flambagem. Em modo geral, esse campo de pesquisa são importantes para engenharia, uma vez que as estruturas estão cada vez mais esbeltas, possibilitando a ocorrência de fenômenos de flambagem.

Referências

- [1] JAVARONI, C. Estruturas de aço: dimensionamento de perfis formados a frio. Elsevier, 2015.
- [2] ABNT NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados. Rio de Janeiro, 2010.
- [3] LAU, S. C.; HANCOCK, G. J. Distortional buckling formulas for channel columns. Journal of Structural Engineering, vol. 113, n. 5, pp. 1063-1078, 1987.
- [4] ABNT NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- [5] TIMOSHENKO, S. P.; GERE, J. M. Theory of elastic stability. Courier Corporation, 2009.
- [6] BEBIANO, R. *et al.* GBTUL-Buckling and vibration analysis of thin-walled members. Technical University of Lisbon, 2008.