



Análise da flambagem lateral por torção de vigas constituídas de perfis U

Analysis of lateral buckling due to torsion of beams made of u-shaped profiles

Gabriel Kuiava Glufke¹, Larissa da Rosa Sufiatti², Diego Rizzotto Rossetto³

RESUMO

Dentre os campos da engenharia mecânica destaca-se a área de estruturas metálicas. Nela existem fatores como a flexo torção. A flexo torção se caracteriza quando uma estrutura é submetida a esforços de flexão, seguida de uma carga de torção. Para a análise de flexo torção são realizados cálculos analíticos, que serão baseados na literatura de Galambos. É necessário determinar a carga de flambagem atuante na viga, que acarreta em falhas por flexão torcional. Nesta análise evidencia-se o fator de momento uniforme equivalente, que corrige o momento crítico, esse fator varia de acordo com as dimensões e propriedades da seção transversal da viga. O cálculo preciso do fator de momento uniforme equivalente é importante para garantir a segurança da viga. Entretanto, a distribuição de cargas é feita na aba e não na alma da viga, como é realizada a análise na sua maioria, tornando o dimensionamento analítico diferente da situação encontrada na prática. O objetivo deste trabalho é a comparação do cálculo considerando diferentes pontos de distribuição de carga uma viga de seção U, sendo no flange superior, alma e flange inferior. Para isso será realizado os cálculos conforme a literatura de Galambos. A comparação será feita por métodos analíticos.

Palavras chave: Fator de momento equivalente uniforme, Flambagem lateral por torção, Estruturas metálicas, Sessão U.

ABSTRACT

Among the fields of mechanical engineering, the area of metal structures stands out. In it, there are factors such as flexural-torsional behavior. Flexural-torsional behavior occurs when a structure is subjected to bending forces followed by a torsional load. For the analysis of flexural-torsional behavior, analytical calculations are performed, which are based on the literature of Galambos. It is necessary to determine the buckling load acting on the beam, which results in failures due to flexural-torsional behavior. This analysis highlights the equivalent uniform moment factor, which corrects the critical moment. This factor varies according to the dimensions and properties of the cross-sectional area of the beam. Accurate calculation of the equivalent uniform moment factor is important to ensure the beam's safety. However, the load distribution is done on the flange and not on the web of the beam, as is typically done in most analyses, making the analytical design different from the real-world scenario. The aim of this work is to compare the calculations considering different load distribution points on a U-shaped section beam, including the upper flange, the web, and the lower flange. For this purpose, calculations will be carried out according to Galambos' literature, and the comparison will be made using analytical methods.

Keywords: Uniform Moment Factor, Lateral – Torsional Buckling, U – Section, Equivalent, Structure.

Gabriel Kuiava Glufke¹. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: gabriellglufke@alunos.utfpr.edu.br.

Larissa da Rosa Sufiatti². Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: larissasufiatti@alunos.utfpr.edu.br.

Diego Rizzotto Rossetto³. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: diegorossetto@utfpr.edu.br.

INTRODUÇÃO

As estruturas metálicas na construção civil estão ganhando crescente popularidade devido aos inúmeros benefícios que proporcionam a um projeto, destacando-se, em particular, pela rapidez que adicionam ao processo em sua totalidade. (Copper Metal, 2023).

Segundo Galambos (1998) uma das variáveis que afeta a resistência à flambagem lateral-torcional é a distância entre os travamentos laterais, assim como o tipo e a posição das cargas. Considerando a flexão não uniforme de vigas e que seus momentos finais são desiguais, soluções numéricas ou aproximações são necessárias para obter a carga de flambagem.

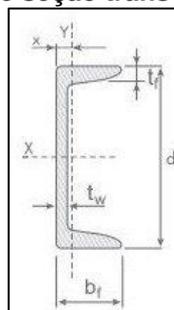
O fator de ajuste na relação de resistência a flexo torção descrito em Galambos (1998), varia de acordo com as dimensões e propriedades da seção transversal da viga, ou seja, em seções do tipo U ele varia de acordo com a relação de largura da aba e a espessura da alma. Contudo, o fator de modificação ou fator de momento uniforme equivalente corrige a diferença dos pontos de carregamento das vigas.

O objetivo deste trabalho é a comparação do cálculo considerando diferentes pontos de distribuição de carga sendo na alma e nos flanges superior e inferior de uma viga de seção U. Para isso será realizado os cálculos conforme a literatura de Galambos. A comparação será feita por métodos analíticos.

METODOLOGIA

A metodologia adotada é a de Galambos, para a análise da flambagem por flexo-torção em vigas U, foi usada uma viga U de bitola 4". A Figura 1 apresenta o esboço da seção transversal e na Tabela 1 está identificado as nomenclaturas e medidas.

Figura 1 - Esboço de seção transversal de uma viga U



Fonte: Catálogo de vigas I e U Gerdau 2023.

Tabela 1 - Medidas da viga

Medidas da viga	
Comprimento da Alma (d)	0,1016 m
Comprimento da Aba (b_f)	0,04023 m
Espessura da Alma (t_w)	0,00467 m
Espessura da Aba (t_f)	0,00752 m
Comprimento da Viga (L)	15 m

Fonte: Catálogo de vigas I e U Gerdau, 2023.



A Tabela 2 apresenta propriedades referentes a viga:

Tabela 2 - Propriedades da viga

Propriedades da Viga	
Módulo de Elasticidade (E)	200 GPa
Módulo de Elasticidade Transversal (G)	77 GPa
Momento de Inercia (I)	159,50 mm ⁴
Peso (p)	8,04 kg/m

Fonte: Catálogo de vigas I e U Gerdau, 2023.

É necessário primeiramente efetuar uma sequência de cálculos a fim de determinar o momento crítico e o fator de momento uniforme equivalente, sendo então possível estipular a carga máxima de flambagem.

Primeiramente se determina a constante de deformação (C_w), para isso precisa-se dos parâmetros: distância entre centros dos dois banzos (d') dada pela Eq. (1) e a distância entre extremidade da aba e o centro da alma (b') dada pela Eq. (2) e o segmento crítico (α) dado pela Eq. (3),

$$d' = d - t_f \quad (1)$$

$$b' = b_f - \frac{t_w}{2} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{1}{2 + \frac{d't_w}{3b't_f}} \quad (3)$$

Com os parâmetros determinados é possível calcular o C_w pela Eq. (4).

$$C_w = (d')^2(b')^2t_f \left(\frac{1 - 3\alpha}{6} + \frac{\alpha^2}{2} \left(1 + \frac{d't_w}{6b't_f} \right) \right) \quad (4)$$

Seguindo pelo cálculo do momento polar de inércia (J), dado pela Eq. (5).

$$J = \frac{1}{3} (2b't_f^3 + d't_w^3) \quad (5)$$

Com os dados obtidos nos cálculos determinamos o valor de W , cujo qual é um parâmetro geométrico e é calculado pela Eq. (6).

$$W = \frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{EC_w}{GJ}} \quad (6)$$

Utilizando a Eq. (7a) e Eq. (7b) para calcular os valores de A e B em um sistema de carregamento distribuído e de simples bi apoio.

$$B = 1 - 0,154W^2 + 0,535W \quad (7a)$$

$$A = 1,13 \quad (7b)$$

Com os valores obtidos e segundo a Eq. (8a), Eq. (8b) e Eq.(8c), que determina o fator de momento uniforme equivalente (C_b).

$$C_b = \frac{A}{B} \quad (8a)$$

$$C_b = A \quad (8b)$$

$$C_b = AB \quad (8c)$$

Os valores da Eq. (8) correspondem a um determinado modelo de fator de momento uniforme equivalente, sendo Eq. (8a) para carregamento no flange superior, Eq. (8b) para carregamentos no meio da alma e Eq. (8c) para carregamento no flange inferior, esses carregamentos são compreendidos mais facilmente analisando a Figura 2.

Figura 2 – Carregamentos na viga - U



Fonte: Facury, 2016.

Para o cálculo do momento crítico (M_{ocr}) é dado pela Eq. (9). Dada por:

$$M_{ocr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{EIGJ} \sqrt{1 + W^2} \quad (9)$$

Para a correção do momento crítico para ser possível calcular a carga de flambagem é necessário o uso da Eq. (9). Dada por:

$$M_{cr} = C_b * M_{ocr} \quad (10)$$

Contudo como está se considerando diferente pontos de aplicação de carga são necessários 3 diferentes tipos de momento crítico corrigido:

$$M_{cr1} = C_b * M_{ocr} \quad (10a)$$

$$M_{cr2} = C_b * M_{ocr} \quad (10b)$$

$$M_{cr3} = C_b * M_{ocr} \quad (10c)$$



Com os momentos críticos corrigidos e com a Eq. (11). Dada por:

$$w_{cr} = \frac{8M_{cr}}{L^2} \quad (11)$$

É possível calcular as três cargas de flambagem possíveis:

$$w_{cr1} = \frac{8M_{cr1}}{L^2} \quad (11a)$$

$$w_{cr2} = \frac{8M_{cr2}}{L^2} \quad (11b)$$

$$w_{cr3} = \frac{8M_{cr3}}{L^2} \quad (11c)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores obtidos das Eq. (1), Eq. (2) e Eq. (3), fornecem a base para os demais cálculos, sendo $d' = 94,08$ mm, $b' = 37,89$ mm e $\alpha = 0,398$ respectivamente.

Fazendo o uso da Eq. (4), determinamos o valor de C_w sendo $243,477$ cm⁶ usando a Eq. (5) determinamos o valor de J igual a $1,39374 \cdot 10^4$ mm⁴ e com a Eq. (6), o coeficiente W igual a $0,044$.

Considerando uma viga com carregamento distribuído e bi apoiada e segundo a Eq. (7) encontramos os valores de A e B , sendo $1,13$ e $1,0232$ respectivamente.

O resultado calculado para o momento crítico não corrigido pelo método analítico usando a Eq. (9) foi de $1,11 \cdot 10^3$ N.m, e os fatores de momento uniforme equivalentes fornecidos pela Eq. (8), foram de $1,104$ para carregamento no flange superior, $1,130$ para carregamento da alma e $1,156$ para carregamento no flange inferior, resultando em três diferentes momentos críticos corrigidos dados pela Eq. (10) apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Momentos críticos corrigidos

Carregamento no topo da Aba	$1,227 \cdot 10^3$ N.m
Carregamento no meio da alma	$1,256 \cdot 10^3$ N.m
Carregamento na aba inferior	$1,286 \cdot 10^3$ N.m

Fonte: DOS AUTORES, 2023.

Com os momentos críticos corrigidos e utilizando a Eq. (11) pode-se obter os valores de carga de flambagem para os três tipos de carregamento apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Comparação das Cargas Críticas

Carga no flange superior	$1,227 \cdot 10^3$ N.m
Carga no meio da alma	$1,256 \cdot 10^3$ N.m
Carga no flange inferior	$1,286 \cdot 10^3$ N.m

Fonte: DOS AUTORES, 2023.

Com os resultados apresentados pela Tabela 4, é possível verificar que o momento crítico corrigido é alterado conforme o ponto de aplicação da carga, o que, analisando a Eq.

(11) e os valores obtidos na Tabela 5 evidencia-se os pontos de carregamento implicam diretamente na carga crítica de flambagem.

CONCLUSÃO

Portanto, considerando apenas o método analítico, é possível observar uma diferença significativa no comportamento de vigas U sujeitas à falha por flambagem por flexo-torção, o que evidencia que o local de carregamento exerce uma influência direta no modo de falha.

Além disso, segundo Galambos (1998), o carregamento de projetos é normalmente considerado na alma da viga, o que gera uma disparidade entre prática e métodos analíticos, sendo que na sua maioria os carregamentos são feitos nos flanges e não na alma.

Considerando esses aspectos, a análise da flexo-torção em vigas U se mostra essencial para garantir a segurança e a eficiência dessas estruturas. Portanto, investigações mais aprofundadas são necessárias para compreender plenamente os efeitos desse fenômeno e aprimorar as metodologias de projeto e análise utilizadas na engenharia estrutural de estruturas metálicas.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela disponibilidade de ensino, ao professor doutor Diego Rizzotto Rossetto, que orientou esta iniciação científica, auxiliando em todas as etapas do conteúdo apresentado. Agradecer também a coautora Larissa da Rosa Sufiatti pela parceria no projeto, bem como na redação e revisão deste artigo.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

Copper Metal. **Estruturas Metálicas para Construção Civil**. Disponível em: <[Uso de estruturas metálicas para construção civil | Coppermetal](#)> Acesso em: 24 de Outubro de 2023.

FACURY, R. H., A. C., R. C. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto**, São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

GALAMBOS, T. V. **Guide Stability Design Criteria For Metal Structures**. 5th Ed. New York, United States of America. John Wiley & Sons. 1998

GERDAU. **Cátalogo de vigas I e U**. Disponível em: <[Gerdau Brasil](#)> Acesso em: 01 de junho de 2023.