

ANÁLISE DE FLAMBAGEM DISTORCIONAL EM PERFIS FORMADOS A FRIO SUBMETIDOS À FLEXÃO

ARTUR MARQUES SILVA ¹

¹ Mestrando em Engenharia Civil, UFU. Uberlândia-MG, engcivilarturmarques@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
4 a 6 de outubro de 2022

RESUMO: Esta pesquisa tem por finalidade analisar o comportamento estrutural de vigas simplesmente apoiadas constituídas por perfis formados a frio seção tipo Ue e Cartola, tangentes a carregamentos lineares e não-lineares. Neste contexto, o objetivo central deste estudo foi desenvolvimento de modelagens computacionais utilizando seções desenvolvidas por outros autores, de forma a avaliar a influência da distribuição de diferentes hipóteses de carregamentos na determinação dos momentos críticos elásticos. A metodologia utilizada consistiu em modelagens computacionais com base no Teoria Generalizada de Vigas por meio do software GBTUL. Os resultados evidenciam que investigações em seções submetidas a carregamentos não-uniformes necessitam de uma maior abordagem visto que este parâmetro influencia diretamente na obtenção dos momentos críticos elásticos de vigas submetidas a flexão, onde foram obtidos maiores resultados nas seções analisadas.

PALAVRAS-CHAVE: Flambagem, Distorcional, Teoria Generalizada de Vigas,

ANALYSIS OF DISTORTIONAL BUCKLING IN COLD FORMED PROFILES SUBJECTED TO BENDING

ABSTRACT: This research aims to analyze the structural behavior of simply supported beams composed of cold-formed Ue and top hat sections, tangent to linear and nonlinear loads. In this context, the central objective of this study was to develop computational modeling using sections developed by other authors, in order to evaluate the influence of the distribution of different loading assumptions on the determination of the elastic critical moments. The methodology used consisted of computational modeling based on the Generalized Theory of Beams using the GBTUL software. The results show that investigations in sections subjected to non-uniform loads require a greater approach since this parameter directly influences the obtaining of the elastic critical moments of beams subjected to bending, where higher results were obtained in the analyzed sections.

KEY WORDS: Buckling, Distortional, Generalized Beam Theory.

INTRODUÇÃO

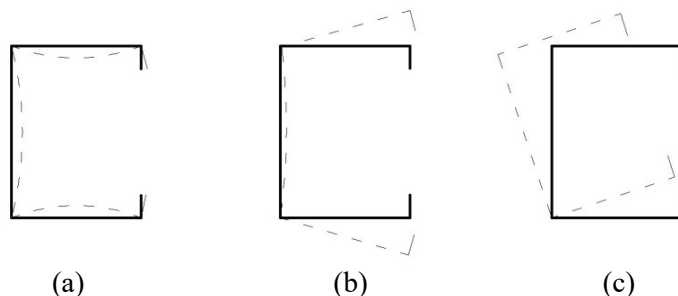
Devido a necessidade de redução de custos no processo de construção das edificações, diversos parâmetros são analisados de forma a obter esta diminuição. Neste contexto, quando realizada a utilização estruturas metálicas constituídas por perfis formados a redução da espessura das seções transversais se mostra uma das melhores alternativas para diminuição de custos. Porém, ao realizar este procedimento ocorre o aumento do índice de esbeltez, ocasionando instabilidade estrutural conhecida como flambagem.

A flambagem pode ser entendida como um fenômeno de instabilidade, podendo ocorrer em seções submetidas a compressão centrada e flexão simples. Este fenômeno ocorre devido a expressiva diferença entre as dimensões das peças e a espessura das chapas. Assim, sendo propensas a diferentes modos sendo eles: Local, Distorcional e Global.

O modo de flambagem local pode ser representado pela (Figura 1-a), onde o processo de flambagem ocorre devido à flexão das chapas que compõe o perfil, sem que haja o deslocamento ou

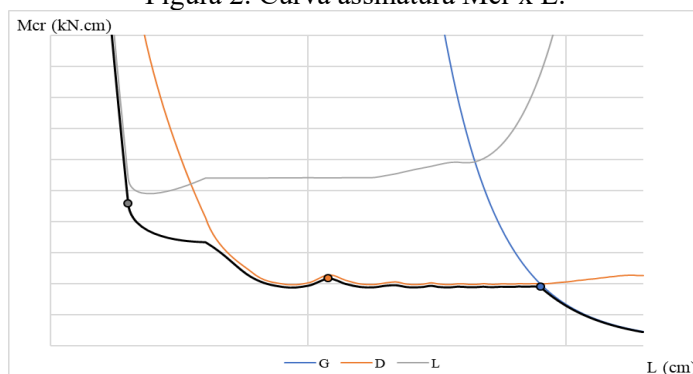
mudança de ângulo das arestas que compõe a seção. Já a distorcional é ocasionada devido ao deslocamento das arestas, ou seja, pela abertura ou fechamento das mesas que compõe o perfil (Figura 1-b). Por fim, a flambagem global pode ser observada devido ao processo de flexão da peça em torno do seu eixo de menor inércia ou até mesmo devido à flexotorção (que é a combinação entre a flexão e torção) podendo ser evidenciada na (Figura 1-c).

Figura 1. Modos de flambagem puros: (a) Local, (b) Distorcional e (c) Global.



Shardt (1994) com intuito de criar um novo método para análise de flambagem desenvolveu em sua pesquisa a Teoria Generalizada de Viga, também conhecida como *General Beam Theory* (GBT). Posteriormente utilizada como base por Bebiano et al. (2010) para a criação de um programa capaz de apresentar dados referentes aos diferentes modos de flambagem e carregamentos críticos, podendo ser utilizadas diversas seções, comprimentos e decomposição modal, assim, foi criado o GBTUL. Este programa permite analisar os modos de flambagem isoladamente, sendo possível avaliar a influência de cada modo no processo de configuração da barra deformada na fase elástica linear, permitindo analisar esta influência de acordo com o comprimento desejado. Com os resultados obtidos por meio da análise via GBTUL, é possível obter “curva assinatura” – relação momento crítico x comprimento da seção. O primeiro trecho da curva corresponde a força crítica referente a flambagem local, ocorrendo em pequenos comprimentos. Posteriormente, é destacada a predominância da flambagem distorcional, ocorrendo em comprimentos intermediários. Por fim, os comprimentos maiores estão associados a flambagem global (Figura 2).

Figura 2. Curva assinatura $M_{cr} \times L$.



Diante desta problemática, o presente artigo utiliza com base na Teoria Generalizada de Vigas para realização de simulações computacionais com base no programa GBTUL. De forma analisar a influência de diferentes hipóteses de carregamentos no processo de análise de flambagem em vigas simplesmente apoiadas seção Ue e Cartola submetidas a flexão.

MATERIAL E MÉTODOS

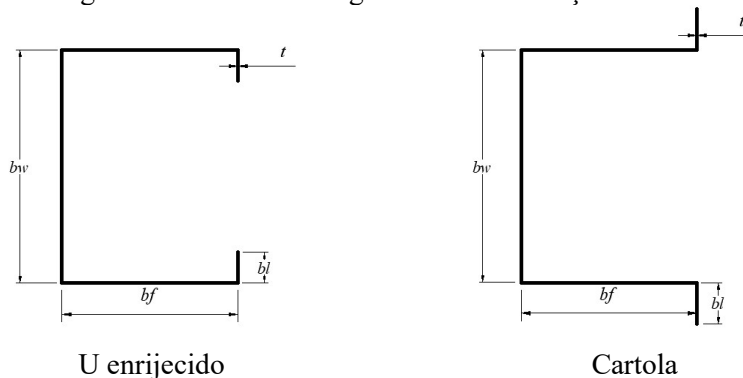
Inicialmente, utilizando como base seções evidenciadas na pesquisa desenvolvida por Martins et al. (2017), foram selecionadas geometrias de forma a obter uma flambagem distorcional em torno do eixo de maior inércia. Para o desenvolvimento desta etapa, foi utilizado o programa GBTUL 1.0 β , obtendo as forças críticas em regime elástico linear das seções transversais em estudo. No processo de

seleção das vigas para obter uma flambagem puramente distorcional, foi considerada uma participação modal distorcional superior a 85% – resultado a soma dos respectivos modos 5 e 6.

O processo de elaboração dos modelos consiste em quatro etapas (i) propriedades geométricas, (ii) propriedades do material, (iii) condições de apoio, (iv) carregamento.

- (i) Inicialmente para o desenvolvimento das geometrias são definidas as dimensões (bw) alma, (bf) mesa, (bl) enrijecedor e (t) espessura (Figura 3);

Figura 3. Características geométricas das seções transversais.



- (ii) Foi utilizado um material isotrópico com propriedade elástica $E = 200$ GPa e Coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$;
- (iii) Os modelos escolhidos consistem em vigas simplesmente apoiadas, com torção impedida e flexão livre em torno dos eixos de maior e menor inércia e deslocamento longitudinal livre;
- (iv) Foram aplicadas diferentes hipóteses de carregamentos em ambas extremidades de forma a obter uma flexão uniforme e não-uniforme, utilizando 2 gradientes de momento ($\psi = 1$ e $\psi = -1$). Vale ressaltar que a utilização da primeira hipótese, corresponde a um carregamento uniforme. Já a segunda, corresponde a distribuição não-uniforme.

Por fim, após concluídas as etapas mencionadas, foram definidas as dimensões das seções utilizadas para o desenvolvimento do presente estudo conforme (Tabela 1).

Tabela 1 – Dimensões das vigas seção Ue e Cartola.

Ue

<i>Vigas</i>	bw (mm)	bf (mm)	bl (mm)	t (mm)	A (cm^2)
Ue-1	75	65	5	2	4,3
Ue-2	90	75	6,25	2	5,1
Ue-3	120	75	10	3	8,7

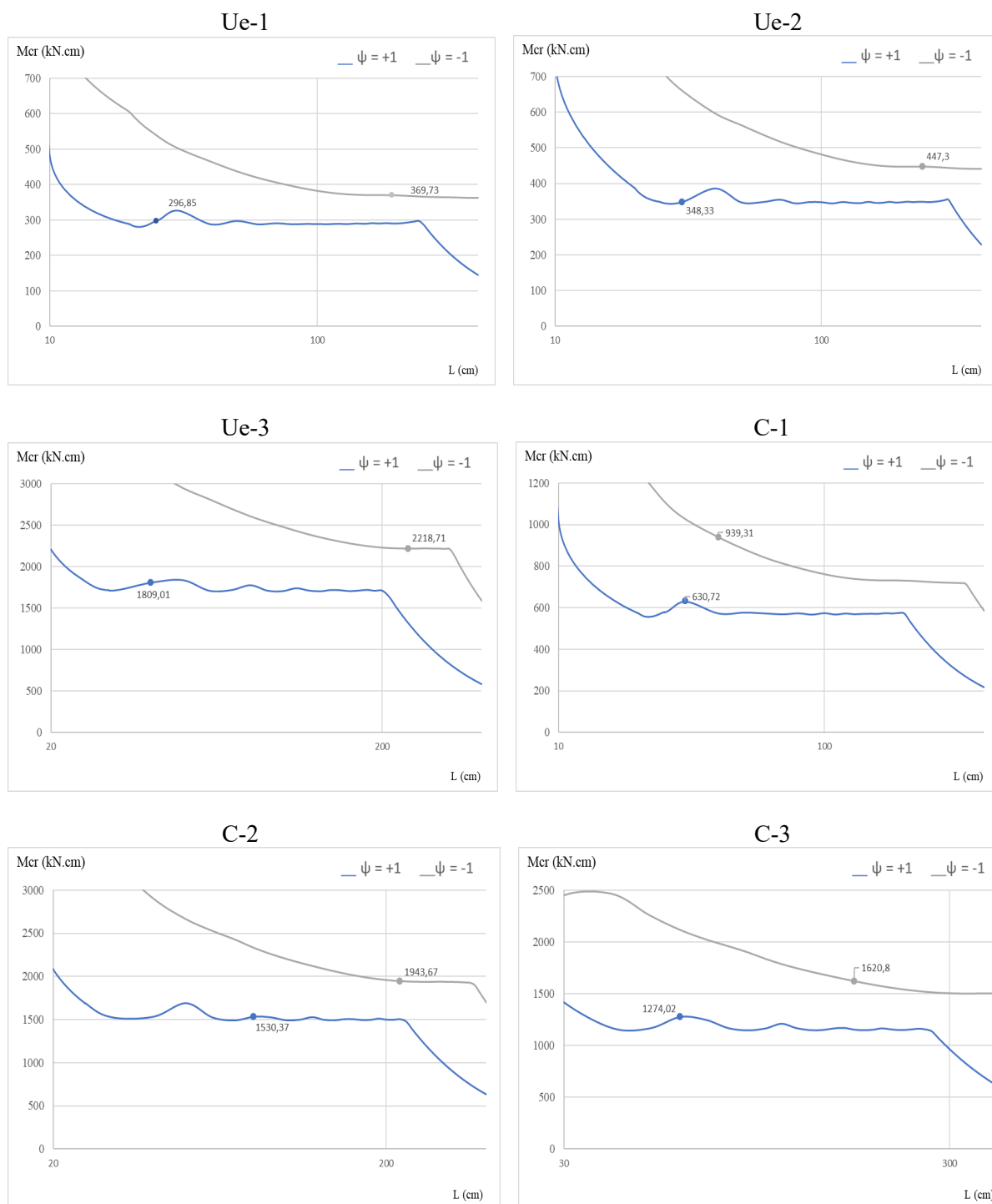
Cartola

<i>Vigas</i>	bw (mm)	bf (mm)	bl (mm)	t (mm)	A (cm^2)
C-1	80	65	6	2,5	5,6
C-2	120	80	10	3	9
C-3	130	85	12	2,5	8,1

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme o procedimento descrito na etapa anterior, foram obtidas curvas assinatura de ambas as seções em estudo. Podendo ser evidenciadas por meio da (Figura 4).

Figura 4. Resultados análise elástica curva assinatura M_{cr} x L .



Foi possível observar com base nos resultados obtidos na curva assinatura que a hipótese de carregamento não-uniforme proporcionou maiores valores críticos de flambagem $\psi = -1 \rightarrow +1$ – já a hipótese de carregamento uniforme proporcionou os menores valores. Assim como observado por pesquisas anteriores como Depolli (2018) e Cruvinel (2021).

Também foi possível observar a participação modal correspondente de cada seção. Conforme evidenciada nas Tabelas (2) e (3). O modo de flambagem 1-4 (Global) apresentou pequena impacto no processo de instabilidade, seguido do modo 7-17 (Local) que apresentou uma maior parcela de

influência. Já o modo 5-6 (Distorcional) apresentou predominância em todas as vigas conforme esperado.

Tabela 2 – Resultados da análise elástica $\psi = 1$.

Vigas	L (cm)	Mcr (kN.cm)	1-4 (%)	5-6 (%)	7-17 (%)
Ue-1	25	296,85	0,59	92,39	7,02
Ue-2	30	348,33	0,37	93,11	6,52
Ue-3	40	1809,01	0,62	96,29	3,09

Vigas	L (cm)	Mcr (kN.cm)	1-4 (%)	5-6 (%)	7-17 (%)
C-1	30	630,72	1,17	94,54	4,29
C-2	80	1530,37	0,58	96,45	2,97
C-3	60	1274,02	0,87	96,98	2,15

Tabela 3 – Resultados da análise elástica $\psi = -1$.

Vigas	L (cm)	Mcr (kN.cm)	1-4 (%)	5-6 (%)	7-17 (%)
Ue-1	190	369,73	4,30	88,17	7,53
Ue-2	240	447,30	3,05	90,56	6,39
Ue-3	290	2218,71	2,45	93,16	4,39

Vigas	L (cm)	Mcr (kN.cm)	1-4 (%)	5-6 (%)	7-17 (%)
C-1	40	939,31	0,39	87,11	12,50
C-2	220	1943,67	3,86	91,36	4,78
C-3	170	1620,80	1,56	92,57	5,87

CONCLUSÃO

Por meio desta investigação, foi possível observar a influência de cada modo de flambagem no processo de instabilidade estrutural das vigas em estudo. Os resultados obtidos evidenciam uma flambagem puramente distorcional variando entre 87,11% a 96,98%. Seguido do modo local, variando de 2,15% a 12,50%. Já o modo global apresentou pouca relevância apresentando valores entre 0,37% a 4,30%

Também se observou que as seções submetidas a carregamentos não-lineares apresentaram valores respectivamente maiores em todos as curvas conforme apresentado anteriormente. Desta forma, pode-se afirmar que as vigas submetidas a carregamentos não-lineares favorecem na obtenção de maiores momentos críticos elásticos.

REFERÊNCIAS

- BEBIANO, R.; SILVESTRE, N.; CAMOTIM, D. GBTUL 1.0 β – Buckling and Vibration Analysis of Thin-Walled Members. User manual. Lisbon: Technical University of Lisbon, 2010.
- CRUVINEL, L. R. Flambagem distorcional de perfil formado a frio seção rack sob flexão uniforme e não-uniforme – análise numérica e mrd. 2021. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.
- DEPOLLI, I. C. Dimensionamento à falha distorcional via método da resistência direta de vigas de aço em perfil formado a frio sob flexão não-uniforme. 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- MARTINS, A. D.; LANDESMANN, A.; CAMOTIM, D.; DINIS, P. B. Distortional failure of cold-formed steel beams under uniform bending: behaviour, strength and DSM design. *ThinWalled Structures*, v. 118, p. 196-213, 2017.
- SCHARDT, R. Generalized beam theory – an adequate method for coupled stability problems. *Thin-Walled Structures*, v.19, n.2-4, p.161-180, 1994.