



Rem: Revista Escola de Minas

ISSN: 0370-4467

editor@rem.com.br

Escola de Minas

Brasil

Álvaro de Souza, Djaniro; Sousa da Rocha Freitas, Marcílio; Sarmanho Freitas, Arlene Maria

Estabilidade de colunas com seções enrijecidas em perfis de aço formados a frio

Rem: Revista Escola de Minas, vol. 59, núm. 2, abril-junio, 2006, pp. 199-205

Escola de Minas

Ouro Preto, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56416733009>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Estabilidade de colunas com seções enrijecidas em perfis de aço formados a frio

Djaniro Álvaro de Souza

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. LAMEC/DECIV/Escola de Minas/UFOP
CEP 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil. E-mail: djaniro@iname.com

Marcílio Sousa da Rocha Freitas

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. LAMEC/DECIV/Escola de Minas/UFOP
CEP 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil. E-mail: marcilio@em.ufop.br

Arlene Maria Sarmanho Freitas

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. LAMEC/DECIV/Escola de Minas/UFOP
CEP 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil. E-mail: arlene@em.ufop.br

Resumo

Os perfis de aço formados a frio estão sujeitos a fenômenos de instabilidade, tanto local, quanto global, que influenciam na capacidade de carga do elemento comprimido. A utilização de enrijecedores pode aumentar a capacidade de carga e a eficiência desse elemento. Apresenta-se, nesse artigo, um estudo numérico de colunas de seções do tipo U enrijecido com enrijecedores intermediários na alma, submetidas à compressão axial. Os perfis adotados são seções comumente utilizadas como colunas (montantes) em sistemas construtivos industrializados constituídos de elementos metálicos pré-fabricados, conhecidos como *Light Steel Frame*. O estudo baseia-se em análises numéricas através do Método dos Elementos Finitos, onde são obtidos as cargas críticas e os respectivos modos de flambagem elástica das seções, através de análise linear, e são feitas avaliações do comportamento pós-flambagem das seções através de análise não-linear. Os comprimentos das colunas foram variados ao longo das séries analisadas, buscando-se identificar os fenômenos de instabilidade predominantes.

Palavras-chave: Perfil formado a frio, enrijecedores intermediários, colunas, flambagem distorcional.

Abstract

Cold-formed steel sections are subject to instability phenomena, either local or global, which can influence the load capacity of compressed elements. The use of longitudinal stiffeners can provide increasing load capacity and element efficiency. This paper presents a numerical investigation of cold formed steel sections with web intermediate stiffeners, subjected to axial compression. The sections considered in this study are the channel ones commonly used as columns in residential Steel Framing Systems. The study is based on finite element method analysis, and the critical loads and respective elastic buckling modes are obtained through linear analysis. Non-linear inelastic analyses are conducted to obtain column ultimate-load capacity and to study its post-buckling behavior. Different column lengths were adopted throughout the analyses, to evaluate their behavior under the different types of local instability.

Keywords: Cold-formed Steel, intermediate stiffeners, columns, distortional buckling.

1. Introdução

A utilização dos perfis de paredes esbeltas tem crescido amplamente devido à sua leveza e à sua grande diversidade de aplicação. Obtidos a partir da conformação a frio de chapas finas de aço, tais perfis são utilizados, atualmente, para inúmeras finalidades, devido à grande variabilidade de seções transversais que pode ser obtida no seu processo de fabricação. Recentemente, em nosso país, uma nova aplicação desses perfis surge como alternativa para a estrutura de edificações residenciais, através do sistema construtivo industrializado denominado *Light Steel Frame*. Esse sistema é constituído de elementos pré-fabricados em aço galvanizado, classificados em vigas, guias, montantes, diagonais, vergas e elementos de cobertura (Crasto, 2005). Os montantes, objeto de estudo dessa pesquisa, são elementos constituintes das paredes estruturais, responsáveis por suportar as cargas provenientes das vigas de piso ou cobertura.

Como consequência da alta relação largura-espessura das paredes que compõem os perfis formados a frio, tais perfis apresentam comportamento diferenciado dos perfis laminados e soldados, ficando susceptíveis a diversos fenômenos de instabilidade. Além dos fenômenos de flambagem globais por flexão e por flexo-torção, os perfis de paredes esbeltas são bastante suscetíveis aos fenômenos de flambagem locais, como a flambagem local de placas e a flambagem distorcional. O modo de flambagem local de placas caracteriza-se pela flexão dos elementos constituintes da seção transversal, sem que haja deslocamento das arestas comuns a tais elementos. A flambagem distorcional, por sua vez, caracteriza-se pela flexão de um ou mais elementos acompanhada pelo deslocamento das arestas comuns a esses elementos. A Figura 1 ilustra esses modos de flambagem para seção do tipo U enrijecido sob carregamento de compressão.

Além do uso de enrijecedores de borda, localizados nas extremidades das mesas, outra forma de melhorar a eficiência estrutural de uma seção é através

da adoção de enrijecedores intermediários longitudinais posicionados na alma. Esse procedimento visa a reduzir a relação entre a largura e a espessura (esbeltez) da alma da seção, uma vez que a ocorrência da flambagem local de placas depende, fundamentalmente, dessa relação.

O presente artigo apresenta um estudo, através do Método dos Elementos Finitos, do comportamento de perfis de aço formados a frio, de seções do tipo U enrijecido com enrijecedores intermediários na alma, submetidos à compressão axial. Os perfis considerados na pesquisa são seções usuais em colunas (montantes) no sistema *Light Steel Frame*.

2. Análise via Método dos Elementos Finitos

As análises foram realizadas com o auxílio do software comercial ANSYS (ANSYS, 1996). Para modelar os perfis de paredes esbeltas, foi utilizado o elemento de casca elástico SHELL63 da biblioteca do programa. Trata-se de elemento quadrilátero de quatro nós com seis graus de liberdade por nó (translações e rotações em torno dos eixos ordenados x , y e z), adequado para análises de flambagem elástica. A condição de contorno adotada simula condição de extremidade da coluna globalmente rotulada, sem, no entanto, impor restrições ao empenamento nas extremidades (Inoue, 2004). Desse modo, as paredes

que compõem o perfil terão condições de extremidade rotuladas localmente. O carregamento é aplicado nas duas extremidades da coluna, através de cargas nodais equivalentes, simulando carregamento uniformemente distribuído (Figura 2a). Nesse modelo, as restrições são impostas diretamente aos nós das extremidades, impedidos de deslocar-se nas direções x e y (Figura 2b), ortogonais à direção de aplicação do carregamento. Para impedir deslocamento de corpo rígido, uma restrição a deslocamento na direção z é imposta a um nó situado à meia altura da alma da seção (Figura 2c).

3. Resultados

Foram escolhidas, para a realização das análises, as seções mais esbeltas, com espessuras de paredes $t=0,76$ mm (sem revestimento), apresentadas na Tabela 1, sendo t_n a espessura nominal e t_r a espessura do revestimento.

Para a avaliação da eficiência dos enrijecedores intermediários, foram realizadas análises lineares de flambagem elástica, onde são obtidos as tensões críticas e os respectivos modos de flambagem. Para cada seção, foram adotadas diferentes quantidades (1 a 4) e dimensões (alturas, d , de 2 a 6 mm) dos enrijecedores intermediários. Entre as diversas seções usuais de enrijecedores intermediários, foi escolhida uma seção triangular, de fácil fabricação, com seus ele-

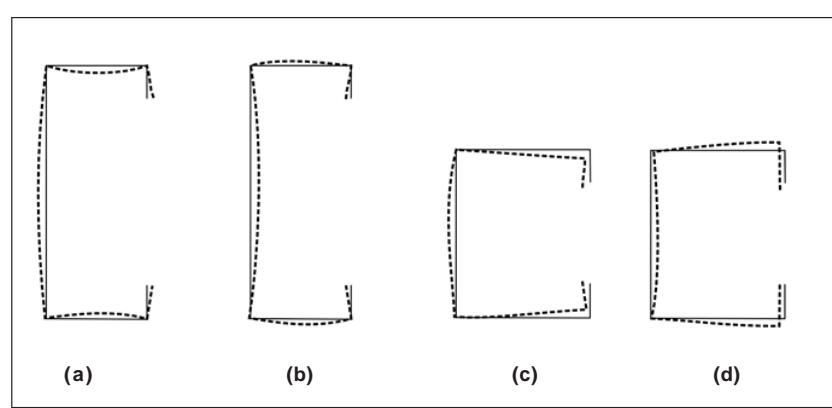


Figura 1 - Modos de flambagem:(a) e (b) Modo local de placas; (c) e (d) Modo distorcional.

mentos formando ângulos de 45° com a alma do perfil, conforme ilustrado na Figura 3.

Inicialmente, tais análises foram feitas utilizando-se o programa CUFSM (Schafer, 2003) através do método das faixas finitas. Os comprimentos de meias ondas senoidais, correspondentes aos modos críticos de flambagem fornecidos pelo CUFSM, foram utilizados como comprimentos das colunas nas análises via método dos elementos finitos, realizadas através do programa ANSYS. Para todas as análises, foram consideradas condições de empenamento livre.

A Tabela 2 apresenta a variação dos valores de tensão crítica obtida em função do número de enrijecedores intermediários (NEI). Pode-se observar, pela tabela, que a simples adoção de enrijecedores intermediários da ordem de 2 mm

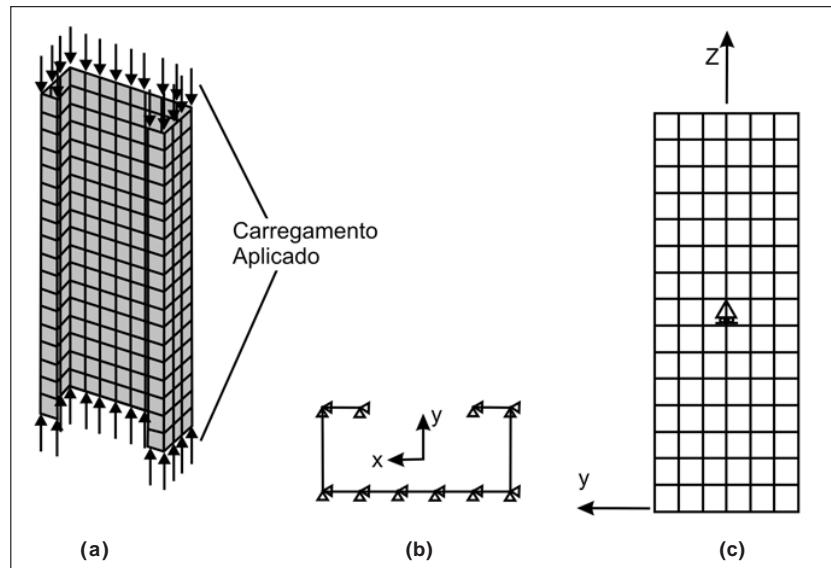


Figura 2 - Condicionamento de contorno adotada nas análises. (a) Aplicação do carregamento; (b) Deslocamentos impiedidos no plano xy , para os nós das extremidades; (c) Deslocamento de corpo rígido impiedido na direção z .

Tabela 1 - Dimensões das seções utilizadas como montantes.

Seção	b_w (mm)	b_f (mm)	D (mm)	t_n (mm)	t_r (mm)	t (mm)
90x40x12x0,76	90	40	12	0,8	0,036	0,76
140x40x12x0,76	140	40	12	0,8	0,036	0,76
200x40x12x0,76	200	40	12	0,8	0,036	0,76
250x40x12x0,76	250	40	12	0,8	0,036	0,76

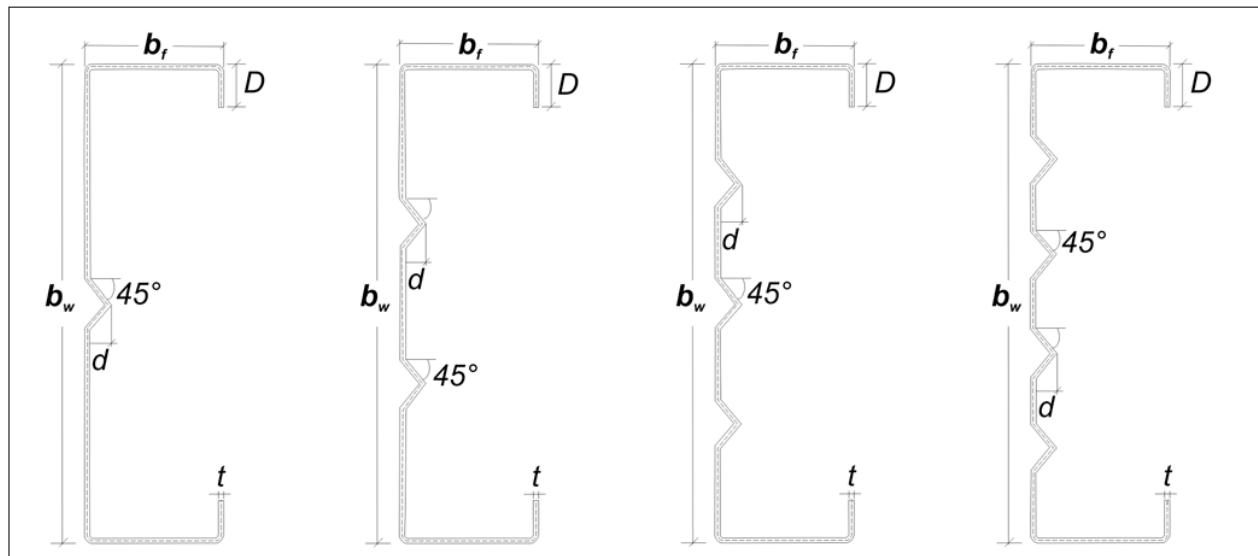


Figura 3 - Nomenclatura das seções analisadas.

Estabilidade de colunas com seções enrijecidas em perfis de aço formados a frio

Tabela 2 - Variação percentual da tensão crítica em função do número de enrijecedores intermediários (NEI).

Ue90x40x12		σ_{cr} (N/mm ²)						Variação (%)				
NEI	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	$\frac{(2)-(1)}{(1)}$	$\frac{(3)-(2)}{(2)}$	$\frac{(4)-(3)}{(3)}$	$\frac{(5)-(4)}{(4)}$	$\frac{(6)-(5)}{(5)}$	
	d=0mm	d=2mm	d=3mm	d=4mm	d=5mm	d=6mm						
1	72,1	116,6	171,7	171,1	171,1	172,6	61,7	47,3	-0,3	0,0	0,9	
2	72,1	122,9	170,5	173,2	170,3	171,0	70,5	38,7	1,6	-1,7	0,4	
3	72,1	130,7	170,0	174,9	173,1	165,6	81,4	30,0	2,9	-1,0	-4,4	
Ue140x40x12		σ_{cr} (N/mm ²)						Variação (%)				
NEI	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	$\frac{(2)-(1)}{(1)}$	$\frac{(3)-(2)}{(2)}$	$\frac{(4)-(3)}{(3)}$	$\frac{(5)-(4)}{(4)}$	$\frac{(6)-(5)}{(5)}$	
	d=0mm	d=2mm	d=3mm	d=4mm	d=5mm	d=6mm						
1	29,9	46,2	67,1	84,3	87,4	91,6	54,2	45,3	25,6	3,7	4,8	
2	29,9	49,4	73,4	84,1	87,3	91,4	65,2	48,4	14,6	3,9	4,7	
3	29,9	53,1	76,3	83,8	86,6	90,6	77,2	43,7	10,0	3,3	4,6	
4	29,9	54,2	77,7	82,9	85,6	89,6	81,1	43,2	6,7	3,3	4,6	
Ue200x40x12		σ_{cr} (N/mm ²)						Variação (%)				
NEI	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	$\frac{(2)-(1)}{(1)}$	$\frac{(3)-(2)}{(2)}$	$\frac{(4)-(3)}{(3)}$	$\frac{(5)-(4)}{(4)}$	$\frac{(6)-(5)}{(5)}$	
	d=0mm	d=2mm	d=3mm	d=4mm	d=5mm	d=6mm						
1	15,2	21,5	29,9	35,9	39,3	43,1	41,3	39,2	20,0	9,5	9,9	
2	15,2	22,8	32,2	36,5	40,4	44,6	50,2	41,0	13,5	10,6	10,5	
3	15,2	24,4	33,4	37,2	41,0	45,2	60,7	36,8	11,3	10,3	10,3	
4	15,2	25,6	34,3	37,4	41,4	45,5	68,2	34,0	9,3	10,5	9,9	
Ue250x40x12		σ_{cr} (N/mm ²)						Variação (%)				
NEI	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	$\frac{(2)-(1)}{(1)}$	$\frac{(3)-(2)}{(2)}$	$\frac{(4)-(3)}{(3)}$	$\frac{(5)-(4)}{(4)}$	$\frac{(6)-(5)}{(5)}$	
	d=0mm	d=2mm	d=3mm	d=4mm	d=5mm	d=6mm						
1	9,8	13,2	17,7	20,2	22,7	25,5	35,1	33,6	14,1	12,4	12,3	
2	9,8	14,0	18,5	21,0	23,7	26,8	42,9	32,1	13,5	12,9	13,1	
3	9,8	14,8	19,1	21,5	24,4	27,9	51,0	29,1	12,6	13,5	14,3	
4	9,8	15,5	19,4	22,0	25,1	28,4	58,2	25,2	13,4	14,1	13,1	

de altura já proporciona maior rigidez à seção, resultando em valores de tensão crítica sensivelmente superiores, em comparação com a seção sem enrijecedores intermediários (d=0 mm). Outra observação interessante é que, ao aumentar a altura do enrijecedor de 2 para 3 mm, ainda são notados sensíveis aumentos na carga crítica. A partir dessa altura de enrijecedor intermediário, não se observam consideráveis ganhos na

rigidez das seções. Assim, a adoção de enrijecedores intermediários da ordem de 3 mm de altura é suficiente para melhorar, consideravelmente, a eficiência da seção.

Além da altura do enrijecedor intermediário, observa-se que a quantidade de enrijecedores também influencia na capacidade de carga do elemento. A definição do número de enrijecedores intermediários varia de acordo com a se-

ção adotada, em função, principalmente, da relação largura-espaçamento da alma. Uma avaliação da eficiência da seção, em função do número de enrijecedores intermediários, pode ser observada através das curvas apresentadas na Figura 4, obtida através das análises realizadas. Tais curvas associam a relação largura-espaçamento da alma da seção, b/t, às cargas críticas das seções com enrijecedores intermediários parametrizadas pela

carga crítica da seção U enrijecido, $\sigma_{cr}/\sigma_{crUe}$. Os resultados foram obtidos para um valor fixo de altura dos enrijecedores intermediários de 3 mm.

De acordo com a figura, pode-se observar que, para certos valores da relação largura-espessura da alma, pode ser definida a quantidade de enrijecedores intermediários que proporcionará a maior rigidez à seção. Para seções com relação b/t inferior ou igual a 130, a adoção de apenas um enrijecedor intermediário é suficiente. Quando o valor da relação b/t encontra-se na faixa entre 150 e 250, a adoção de dois ou mais enrijecedores passa a ser mais interessante. Observa-se, também, que a maior variação da resistência da seção ocorre quando se passa de uma seção com um enrijecedor intermediário para dois enrijecedores na alma.

Em contrapartida, essa rigidez adicional imposta pelos enrijecedores intermediários induz o aparecimento antecipado do modo distorcional de flambagem, inicialmente caracterizado pelo deslocamento do enrijecedor intermediário e, posteriormente, pela rotação das mesas e dos enrijecedores de borda em relação à alma do perfil. Portanto uma avaliação criteriosa do comportamento pós-flambagem distorcional da seção deve ser levada em consideração. Atualmente, as formulações contidas nas normas de projetos ainda não prevêem a influência da flambagem distorcional na capacidade de carga de seções com enrijecedores intermediários sujeitas a esse fenômeno. Analiticamente, métodos simplificados são propostos para a obtenção das cargas críticas e dos coeficientes de flambagem, para seções específicas. Basicamente, as formulações existentes são baseadas nos modelos propostos por Lau e Hancock (1987) e por Schafer (1997, 2000, 2002), em que não é considerada a seção transversal completa, sendo feito um estudo do comportamento do conjunto mesa-enrijecedor quanto à flambagem por flexo-torção, baseado na teoria da estabilidade elástica. A formulação proposta por Lau e Hancock está inserida no anexo D da norma brasileira NBR 14762 (2001), a par-

tir de trabalhos de Batista e colaboradores (Batista et al., 2000, Batista et al., 1998, Vazquez, 1998). A formulação proposta por Schafer (1997, 2000) faz parte dos estudos direcionados para futuras modificações nas especificações do AISI (1997). Nessa formulação, a contribuição da alma da seção na rigidez à torção no encontro entre alma e mesa é levada em consideração.

Com o objetivo de avaliar o comportamento das seções, para diferentes comprimentos, identificando os modos de flambagem dominantes, foram realizadas diversas análises de flambagem com a seção Ue-90x40x12 com um enrijecedor intermediário na alma. As análises foram realizadas variando-se os comprimentos das colunas e o resultado é apresentado na Figura 5, onde podem ser identificados os modos de flambagem predominantes. Para o caso de colunas curtas, observa-se a ocorrência do modo de flambagem distorcional, caracterizado apenas pelo deslocamento do enrijecedor intermediário (MDE). À medida que as colunas passam a ter um comprimento intermediário, identifica-se o modo distorcional da seção (MDS), caracterizado pelo deslocamento das arestas comuns a elementos adjacentes ao longo do comprimento da coluna. Para comprimentos maiores, o modo de instabilidade global passa a ser predominante.

Foram feitas, também, avaliações do comportamento dos perfis do tipo U enrijecido com enrijecedores intermediários na alma, sob compressão centrada através de análises não lineares, sendo obtidas as cargas últimas e estudado o comportamento pós-crítico desses perfis. As análises foram conduzidas considerando o modelo E2-140x076-D03, que se refere ao perfil U enrijecido Ue140x40x12 com dois enrijecedores intermediários na alma, de alturas iguais a 3mm. Os comprimentos das colunas estudadas variam ao longo das análises, sendo definidos em função dos comprimentos de meias ondas referentes ao modo distorcional da seção (MDS). As análises utilizam os modelos de condição de contorno com empenamento livre e com placas de carregamento e apoio. Os valores do limite de escoamento, f_y , e do limite de resistência do material, f_u , são de 230 e 310 MPa, respectivamente, compatíveis com aços de média resistência.

A Tabela 3 apresenta os valores das cargas críticas e das cargas últimas obtidas para a seção com dois e com três enrijecedores intermediários, E2-140x076-D03 e E3-140x076-D03, com condições de empenamento livre e impedido nas extremidades. Nesse caso são

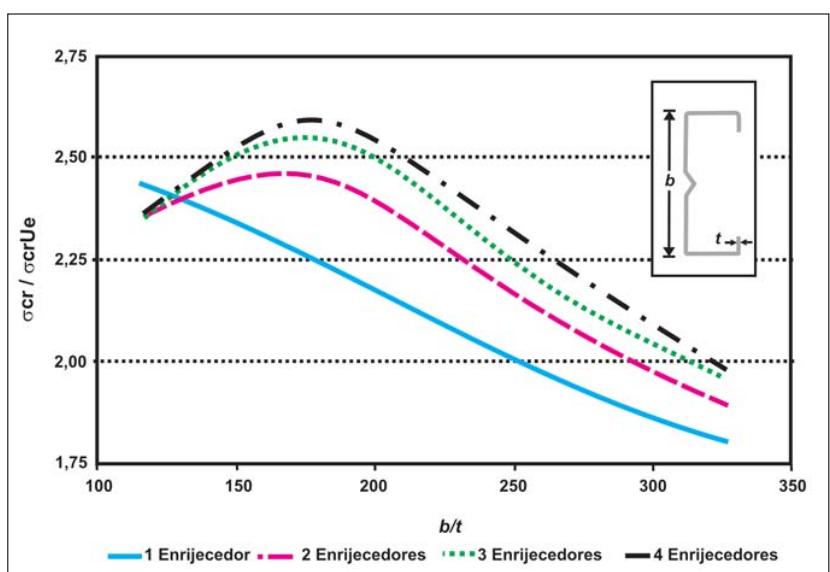


Figura 4 - Carga crítica em função da relação largura-espessura da alma.

Estabilidade de colunas com seções enrijecidas em perfis de aço formados a frio

adotadas placas de carregamento e apoio nas extremidades das colunas, conduzindo a valores maiores para as cargas últimas. Os comprimentos das colunas foram de 630 e 690 mm, correspondentes ao modo crítico de flambagem distorcional, com três meias ondas senoidais. É interessante observar que a seção submetida ao modo de flambagem distorcional também apresenta reserva de resistência pós-flambagem, com valor de carga crítica da ordem de 63% e 50% da carga última, para condição de empenamento livre e condição de empenamento impedido, respectivamente.

Os processos de fabricação dos perfis de paredes esbeltas introduzem imperfeições que podem influenciar na capacidade de carga da coluna. Portanto, para avaliar o comportamento da mesma, em regime pós-crítico, faz-se necessária a consideração dessas imperfeições. Para o presente estudo, foi adotada, como uma das imperfeições geométricas iniciais, a configuração deformada da coluna, correspondente ao modo de flambagem obtido através de análise linear. As amplitudes máximas adotadas para as imperfeições foram da ordem de 10, 25, 50 e 75% da espessura das paredes do perfil, ou seja, 0,076, 0,19, 0,38 e 0,57 mm. A Tabela 4 apresenta os valores das cargas últimas obtidas numericamente com a coluna perfeita e com as imperfeições descritas anteriormente.

Avaliaram-se as trajetórias de equilíbrio para a coluna sob compressão axial, representadas pelas curvas que relacionam os valores dos incrementos de carga normalizados em relação à carga crítica de flambagem com os deslocamentos axiais obtidos para as colunas, para os diferentes valores de imperfeições iniciais. As curvas revelam que, mesmo após ser atingida a carga crítica, a coluna continua apresentando capacidade de suportar cargas. Esse comportamento, segundo uma trajetória de equilíbrio estável, é apresentado, tanto para a coluna sem imperfeições, quanto para as colunas imperfeitas.

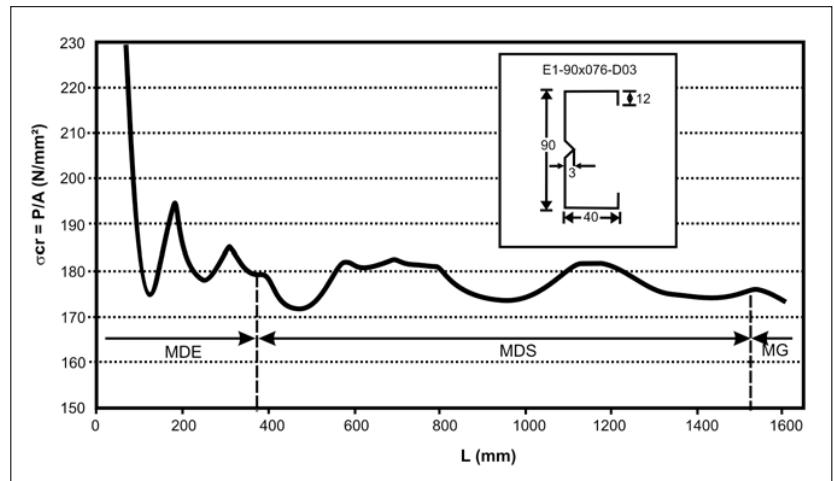


Figura 5 - Identificação dos modos de flambagem para a seção Ue-90x40x12 com um enrijecedor intermediário na alma, ao longo do comprimento.

Tabela 3 - Valores de cargas críticas e cargas últimas para os modelos E2-140x076-D03 e E3-140x076-D03, com empenamento livre e impedido.

Modelo	$P_{cr\text{Numérico}}$ (kN)	$P_{u\text{Numérico}}$ (kN) emp. livre	$P_{u\text{Numérico}}$ (kN) emp. impedido
E2-140x076-D03	13,45	21,20	26,55
E3-140x076-D03	14,68	22,24	28,28

Tabela 4 - Cargas últimas para o modelo E2-140x076-D03.

Modelo	Imperfeição (mm)	Carga Última $P_{u\text{Num}}$ (kN)
E2-140x076-D03	-	26,55
E2-140x076-D03-010t	0,076	26,52
E2-140x076-D03-025t	0,19	26,43
E2-140x076-D03-050t	0,38	26,14
E2-140x076-D03-075t	0,57	26,13

4. Conclusões

Foram observados consideráveis ganhos de resistência, quando acrescentados enrijecedores intermediários nas almas das seções analisadas. Para a maioria das seções, são observados acréscimos nas tensões críticas de flambagem distorcional à medida que um maior número de enrijecedores intermediários é adotado.

Para todas as seções analisadas, os valores de altura para os enrijecedores intermediários, d , mais eficientes foram de 3 e 4 mm. Os enrijecedores de 2 mm de altura foram pouco eficientes, quando comparados aos enrijecedores de 3 a 6 mm. Os valores de d iguais a 4, 5 ou 6 mm, além de pouco aumentarem na resistência da seção em relação à altura de

3 mm, podem proporcionar dificuldades de montagem dos montantes, para o caso de seções utilizadas na junção de paredes estruturais. Portanto o valor mais recomendado para altura dos enrijecedores intermediários para as seções analisadas é de 3 mm.

Apesar de proporcionar grande rigidez às seções, o acréscimo de enrijecedores intermediários induzem as mesmas ao desenvolvimento do modo de flambagem distorcional. Faz-se necessário, então, o desenvolvimento de soluções analíticas simplificadas, de fácil uso por parte de engenheiros estruturais, para a obtenção das tensões críticas de flambagem distorcional e para o estudo do comportamento pós-flambagem para esse tipo de seção.

As seções com enrijecedores intermediários na alma, cujo modo de flambagem preponderante é o modo distorcional, também apresentam comportamento pós-crítico estável, com reserva de resistência pós-flambagem. A inevitável presença de imperfeições geométricas nas peças influencia na capacidade de carga das mesmas, reduzindo a carga última esperada. No entanto, o comportamento pós-crítico é estável, como no caso de colunas sem imperfeições, diferenciando apenas na trajetória de equilíbrio.

5. Referências bibliográficas

- ABNT. *NBR 14762/2001: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio - Procedimento*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.
- AISI. *Cold-formed steel design manual - 1996 Edition*. Washington DC: American Iron and Steel Institute, 1997.
- ANSYS. *Basic Analysis Procedure Guide*. Houston: ANSYS Inc., 1996.
- BATISTA, E. M., VASQUEZ, E. G., NAGAHAMA, K. J., CAMOTIM, D. *Estudos dos modos de instabilidade local de placa e distorcional em perfis de chapa dobrada de aço*. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 29, 2000. Punta Del Este, Uruguai, p. 14.
- BATISTA, E. M., CAMOTIM, D., PROLA, L. C. , VASQUEZ, E. G. On the stability and strength of steel columns affected by distortional buckling. *Journal of constructional steel research*, v. 46, n. 1-3, p. 129-131 (artigo completo em CD-ROM, artigo # 86), 1998.
- CRASTO, R. C. M. *Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing*. Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFOP, 2005. (Dissertação de Mestrado).
- INOUE, H. *Sistemas diafragma com painéis de chapa fina, aplicados a edificações*.
- estruturadas em aço. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2004. (Tese de Doutorado).
- LAU, C. W., HANCOCK, G. J. Distortional Buckling Formulas for Channel Columns. *Journal of Structural Engineering*, v.113, n. 5, p. 269-294, 1987.
- SCHAFER, B. W. CUFSM 2.6 Software. User Manual and Tutorials, www.ce.jhu.edu/bschafer/cu fsm. 2003
- SCHAFER, B. W. Local, distortional, and Euler buckling of thin-walled columns. *Journal of Structural Engineering*, v.128, n. 3, p. 289-299, 2002.
- SCHAFER, B. W. *Distortional buckling of cold-formed steel columns*. Final Report, AISI, 2000.
- SCHAFER, B. W., PEKOZ, T. The behavior and design of longitudinal stiffened thin-walled compression elements. *Thin Walled Structures*, v. 27, n. 1, p.65-78, 1997.
- SOUZA, D. A. *Análise numérica de colunas com seções enrijecidas e não-enrijecidas em perfis formados a frio*. Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFOP, 2005. (Dissertação de Mestrado).
- VASQUEZ, E. G. *Estabilidade e resistência de perfis de chapa dobrada afetados pelo modo distorcional*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1998. (Dissertação de Mestrado).

Artigo recebido em 20/01/2006 e
aprovado em 13/04/2006.

REM - Revista Escola de Minas
70 anos divulgando CIÊNCIA.

www.rem.com.br
