

Análise de perfis formados a frio com perfurações sob compressão centrada

Vinícius de O. Faria¹, Flávio T. Souza², Sérgio A. Miranda³ e Arlene M. Sarmanho^{4*},

¹Universidade Federal de Ouro Preto, v.oliveirafaria@gmail.com

²Instituto Federal de Minas Gerais, flavio.souza@ifmg.edu.br

³Universidade Federal de Ouro Preto, sergimnho@yahoo.com.br

⁴Universidade Federal de Ouro Preto, arlene.sarmanho@gmail.com

Analysis of cold formed structural rack columns

Resumo

Este trabalho avalia a ocorrência do modo de associado a flambagem local em pilares curtos constituídas por perfis formados a frio tipo rack. Estes pilares possuem perfurações para facilitar a montagem, e este trabalho considera a influência das mesmas no comportamento e no esforço resistente destes perfis estruturais. Os estudos foram realizados por análises numéricas e experimentais, cujos resultados apresentaram boa correlação e indicaram que as perfurações não afetaram significativamente a carga crítica e a capacidade resistente dos pilares, apesar de influenciarem significativamente o comportamento dos mesmos, alterando o número de meias ondas formadas. Observou-se ainda considerável influência das imperfeições geométricas no comportamento da estrutura, indicando a necessidade de sua inclusão nas análises numéricas.

Palavras-chave: Flambagem local, Perfis formados a frio, Método dos elementos Finitos, Rack.

Abstract

This work presents an evaluation of local buckling in cold formed rack stub columns. These columns have perforations along their length to make assemblage easier, and this research investigates their influence in these structures behavior and resistance. Experimental and numerical analysis were carried out and their results showed good agreement and indicated that perforations in columns don't reduce significantly their buckling load and strength, but affect their buckling modes by changing the number of half waves formed in the columns. It was also observed a considerable influence of geometrical imperfections, indicating the need of their inclusion in the numerical analysis.

Keywords: Local Buckling, Cold Formed Profiles, Finite Element method, Racks.

1 Introdução

Os avanços tecnológicos aliados a fatores econômicos têm levado a uma tendência de projetar estruturas cada vez mais leves e esbeltas. Um fenômeno de instabilidade presente em elementos esbeltos é associado a flambagem local, que influencia o comportamento e a capacidade resistente de seções em perfis formados a frio (PFF). Os PFF são obtidos por meio de dobragem de chapas a frio, conforme especificado em norma ABNT NBR 14762:2010. As vantagens do uso dos perfis formados a frio são a simplicidade de sua produção, seu baixo peso quando comparado aos perfis laminados e soldados e sua extensa aplicabilidade. Dentre as seções em perfis formados a frio, destacam-se o U enrijecido, a caixa e a seção tipo rack ou garrafa, utilizada nos sistemas de armazenagem industrial. Estas seções estão apresentadas na Figura 1.

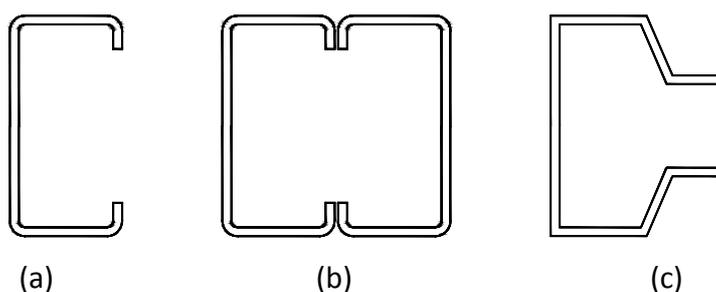


Figura 1 - Perfis mais utilizados em PFF: (a) Perfil U enrijecido; (b) Perfil caixa; (c) Perfil rack ou garrafa

Os sistemas de armazenagem industrial, também chamados racks, são estruturas utilizadas para estocar produtos manufaturados. Variam de pequenas estantes carregadas manualmente até estruturas de mais de 30m de altura com carregamento automatizado (Godley, 1991), conforme apresentado na Figura 2. Seus pilares são constituídos por perfis de seção especialmente desenvolvida para facilitar a montagem das estruturas, além de possuírem furos ao longo de seu comprimento com esta mesma finalidade, pois tornam imediato o encaixe das ligações entre os pilares e as vigas (conforme mostra a Figura 3).



Figura 2 - Sistema de armazenagem industrial (Águia, 2013)



Figura 3 - Encaixe das vigas e pilares (Águia, 2013)

A seção rack ou garrafa, cujos componentes são apresentados na Figura 4, é uma seção aberta, apresentando perfurações de configurações diversas ao longo de seu comprimento. Os flanges de ligação permitem a fixação do sistema de contraventamento diretamente no perfil, facilitando a montagem dos racks. No entanto, a existência destas perfurações modificam o comportamento e a capacidade resistente da estrutura, motivando diversos estudos nesta avaliação (Freitas et al 2010, 2013). Neste trabalho são avaliados o comportamento e esforço resistente de perfis do tipo rack submetidos à compressão com perfurações quadrangulares nas almas, com ênfase na ocorrência do modo associado a flambagem local neste elemento da seção, considerando novas tipologias de perfurações visando a complementação dos estudos anteriores. Este estudo envolveu análises experimental e numérica e também avaliações teóricas.

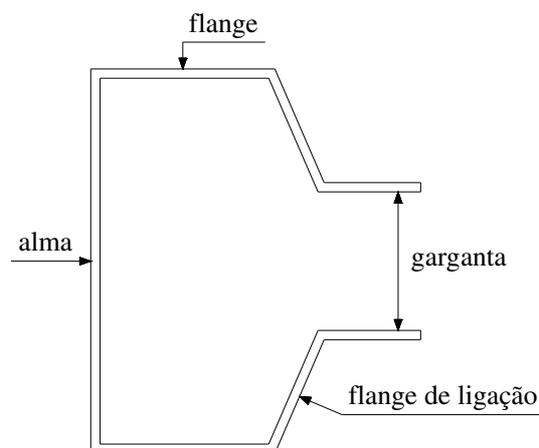


Figura 4 - Seção transversal

2 Programa experimental

O programa experimental consistiu no ensaio de compressão centrada de perfis do tipo rack com a seção apresentada na Figura 5. Foram ensaiados protótipos com diferentes arranjos de perfurações na alma: sem perfurações, com três perfurações na linha média da alma e com seis perfurações, conforme apresentado na Figura 6. Foram ensaiados dois corpos de prova de cada protótipo, diferindo entre si apenas pelas imperfeições oriundas do processo de fabricação. As dimensões foram escolhidas de modo a atenderem parâmetros de fabricação por empresa do setor (Águia, 2011; Águia, 2013).

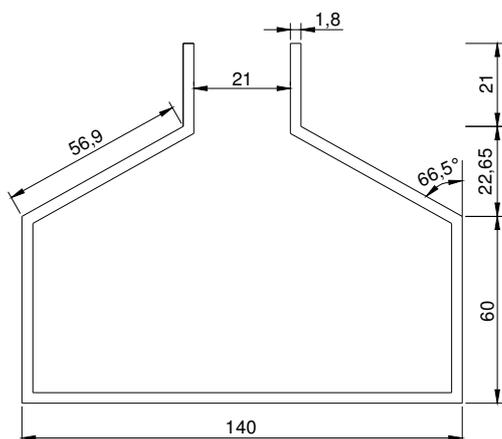


Figura 5 - Dimensões da seção (mm)

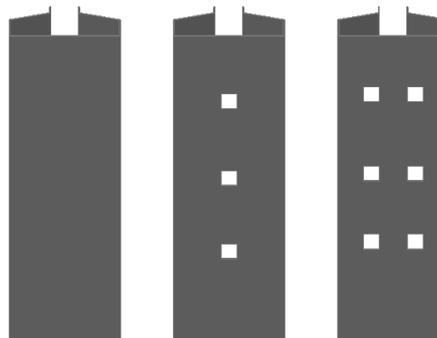


Figura 6 - Perfis para análise

A identificação dos protótipos, baseada na espessura da chapa, quantidades de furos e pela sequência de ensaios é apresentada na Tabela 1. A simbologia foi demarcada nos corpos de prova a fim de se organizar os procedimentos de ensaio. Por exemplo, 3F-1,5-CP1 significa corpo de prova 1 com três perfurações e espessura de 1,5 mm.

Tabela 1 - Identificação dos protótipos

Descrição: WW-X,Y-CPN	
WW	<ul style="list-style-type: none"> Perfil sem a presença de furos: SF Perfil com três furos: 3F Perfil com seis furos: 6F
	<ul style="list-style-type: none"> CPN Corpo de prova 1: CP1 Corpo de prova 2: CP2 X,Y - Espessura de 1,5 ou 1,8 mm

2.1 Caracterização do material

Ensaio de tração foram realizados para obter a tensão limite de escoamento, f_y , o alongamento residual após a ruptura, a , e a tensão limite de resistência à tração, f_u , conforme especificações da NBR 6892 (NBR ISO 6892, 2002). Os valores médios encontrados estão descritos na Tabela 2. O Módulo de Elasticidade utilizado nas análises foi de 200 GPa. A baixa resistência ao escoamento da chapa de espessura 1,5 mm, se comparada à de 1,8 mm, deve-se ao fato daquela ser constituída por aço do tipo SAE.

Tabela 2 - Caracterização do material

Corpo de prova	Espessura de 1,8 mm			Espessura de 1,5 mm		
	f_y (MPa)	f_u (MPa)	a (%)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	a (%)
Média	354,88	507,18	19,47	221,98	379,31	29

2.2 Localização das perfurações e altura do modelo

Segundo Silva (2011), a seção em estudo está sujeita à ocorrência de modo associado a flambagem local da alma por meio de 3 meias ondas em forma de senóide, contendo as amplitudes máximas e mínimas numa linha central da alma ao longo do comprimento do pilar. Com isso foram posicionados furos nos pontos de máximo deslocamento da senóide e também em seus pontos de inflexão, conforme Figura 7.

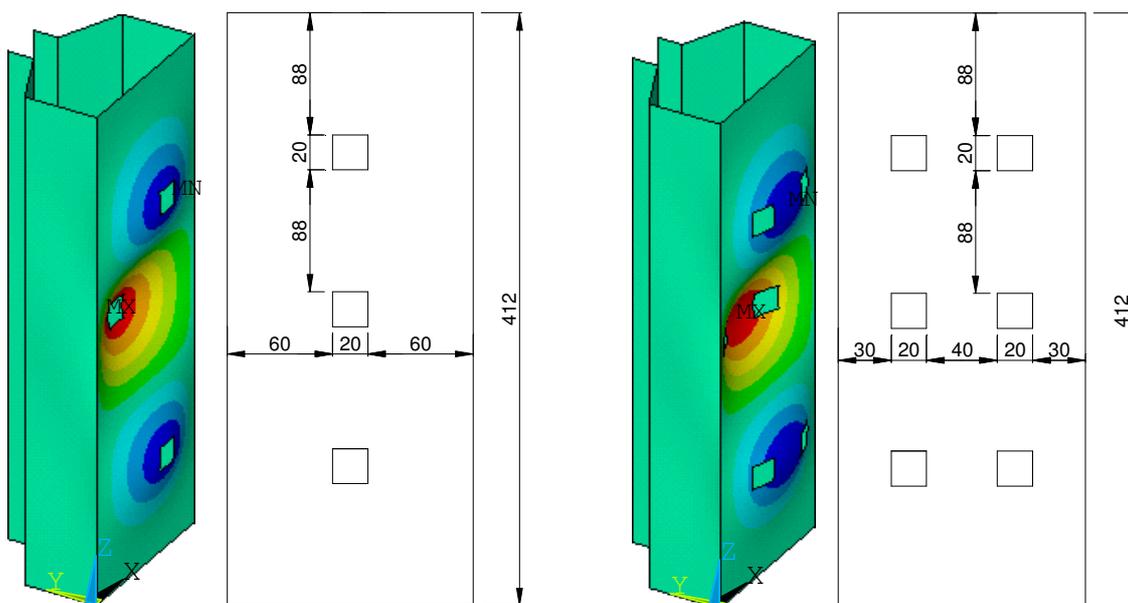


Figura 7 - Dimensões em milímetros e localização dos furos

As dimensões dos protótipos foram definidas por Silva (2011), com o auxílio do software GBTUL (Bebiano et al, 2008). Foi adotado o comprimento do perfil de 412 mm pois neste caso, sob compressão centrada, ocorre modo associado a flambagem local com carga crítica inferior à capacidade resistente dos perfis.

2.3 Montagem experimental

O equipamento utilizado nos ensaios de compressão centrada foi a prensa servohidráulica INSTRON SATEC 5569. Nos ensaios, os corpos de prova foram posicionados entre rótulas, com o objetivo de garantir a verticalidade da força aplicada (Figura 8). Para garantir a aplicação da força no centro de gravidade da seção foi feito o alinhamento geométrico entre o corpo de prova e a prensa, e foram soldadas nas extremidades do perfil chapas de 4,75 mm de espessura para impedir o empenamento da seção (Figura 9). Os ensaios foram realizados com controle de deslocamentos, e a velocidade de aplicação de força foi de 0,1 mm/min.

O modo de instabilidade foi detectado durante os ensaios experimentais por um aumento considerável dos deslocamentos na alma do perfil, indicado pelos transdutores de deslocamentos. Os ensaios foram interrompidos quando se registrou queda de 20% na força aplicada a partir da capacidade resistente do protótipo.

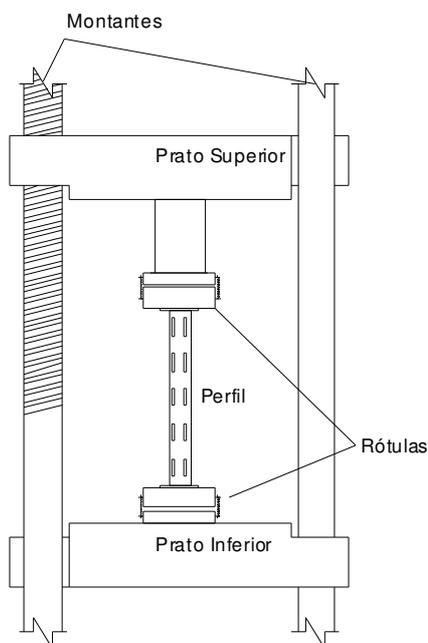


Figura 8 -Montagem experimental



Figura 9 - Posicionamento dos corpos de prova e chapa de extremidade

2.4 Instrumentação e aquisição de dados

Os deslocamentos decorrentes das meias-ondas do modo associado a flambagem local, foram medidos pelos transdutores de deslocamentos (LVDTs) localizados na linha central do perfil, na região com maior amplitude de deslocamento devido ao fenômeno associado a flambagem local. A distância entre os transdutores, para todos os modelos ensaiados, foi de 55 mm. A Figura 10 apresenta a distribuição destes transdutores na alma dos protótipos, onde L1 a L5 representa a sequência dos LVDTs.

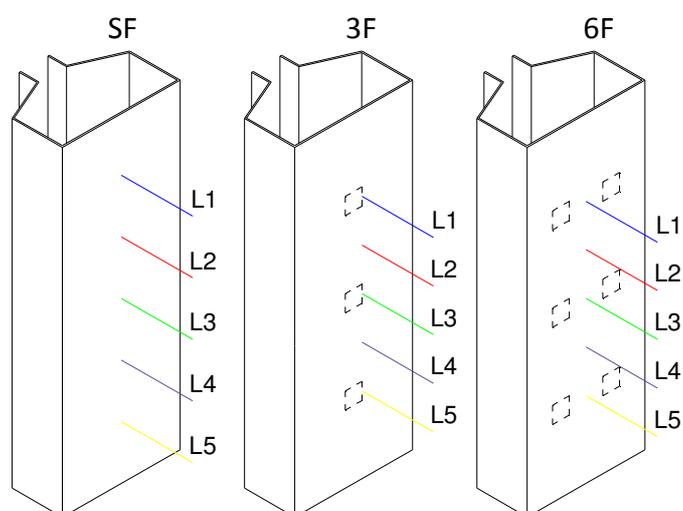


Figura 10 - Posicionamento dos LVDT's nos protótipos

A aquisição de dados foi feita através do software Partner (Instron, 2008), que coletou os dados da célula de carga e também por um sistema de aquisição independente, Spider8 (Hottinger Baldwin Messtechnik, 2003a), controlado através do software Catman 4.5 (Hottinger Baldwin Messtechnik, 2003b), que realizou a aquisição dos dados dos transdutores de deslocamentos.

3 Análise numérica

3.1 Teoria Generalizada de Viga (GBT) - Software GBTUL

A Teoria Generalizada de Vigas (GBT), com o uso do software GBTUL (Bebiano et al, 2008), é um dos métodos numéricos utilizado neste trabalho. Neste

programa, foram analisadas as seções sem a presença de furos, visto que o mesmo não permite criar seções com perfurações.

Inicialmente o GBTUL foi utilizado para definir as dimensões do protótipo, conforme descrito no item 2.2. Num segundo momento, seus resultados foram utilizados na calibração de um modelo via elementos finitos, que permite maior amplitude nas análises com a inclusão das perfurações nos modelos.

3.2 Análise por meio de elementos finitos de casca

O Método dos Elementos Finitos foi utilizado por meio do software ANSYS 14 (ANSYS, 2011). Observa-se que os modelos de elementos finitos têm seus resultados influenciados pelas condições de contorno, refinamento da malha e o tipo de elemento utilizado. Assim, foi realizada a calibração do procedimento por meio da comparação com os resultados da GBT (Freitas et al, 2010; Freitas et al, 2013), definindo-se os procedimentos apresentados a seguir:

- Tipo de elemento: O elemento utilizado em análise foi o SHELL 181, sendo esta escolha baseada em estudos anteriormente realizados considerando seções perfuradas (Freitas et al, 2010; Souza, 2013). Este elemento possui quatro nós com seis graus de liberdade em cada nó (translações e rotações em X, Y e Z) e é indicado para análises elastoplásticas.
- Refinamento da malha: Buscou-se um refinamento adequado ao problema, aliando precisão e custo computacional. Foram testados vários níveis de refinamento e, por meio de comparações com os resultados obtidos via GBT, foram adotados 25 elementos na direção longitudinal do perfil, 10 elementos na direção da alma, 4 elementos na direção da mesa e enrijecedor e 2 elementos na direção do flange de ligação.
- Condições de contorno: Para evitar a distorção das seções extremas, foram restringidos os deslocamentos nas direções perpendiculares ao eixo do pilar, conforme Figura 11 (a). Para impedir o deslocamento de corpo rígido na direção axial do modelo, um nó à meia altura do modelo teve sua translação impedida nesta direção. (Figura 11 (b)). As rotações em torno dos eixos perpendiculares ao pilar foram acopladas, com o objetivo de garantir o deslocamento uniforme de todos os nós envolvidos. Com isso o

empenamento é restringido conforme Figura 11 (c). O carregamento foi aplicado uniformemente distribuído em todos os nós das extremidades a fim de se garantir a centralização das forças (Figura 11 (d)). O conjunto das condições de contorno é mostrado na Figura 11 (e). Esta técnica foi utilizada por Silva (2011) e Souza (2013).

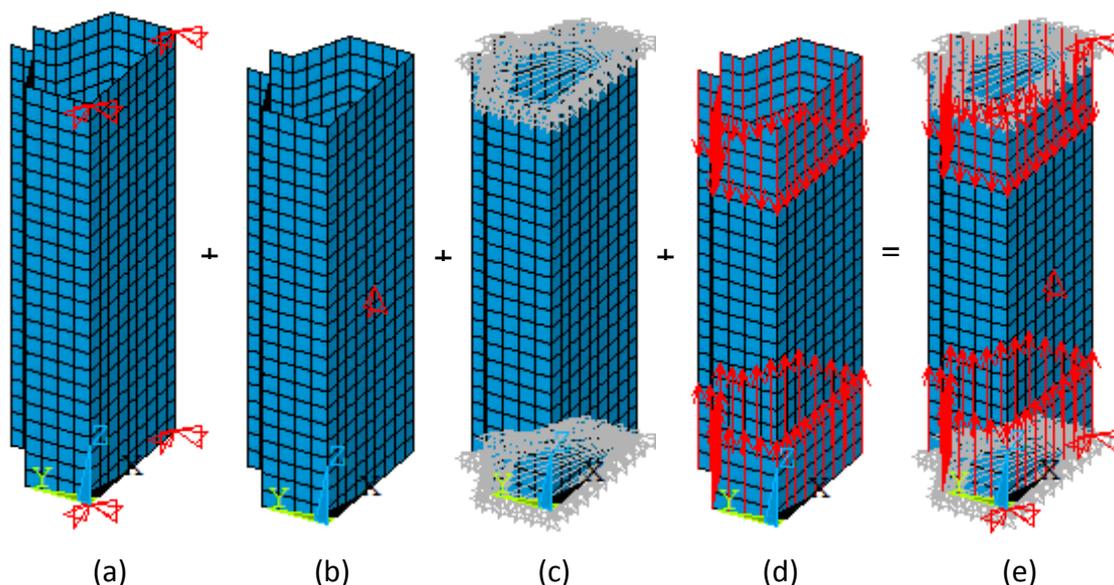


Figura 11 - Condições de contorno implementadas no modelo de elementos finitos:

- (a) Restrições de deslocamentos nas direções perpendiculares ao eixo do pilar;
- (b) Restrição para impedir o deslocamento de corpo rígido;
- (c) Acoplamento das rotações; (d) Aplicação do carregamento;
- (e) Todas as condições de contorno aplicadas.

Além da análise linear de estabilidade dos perfis tipo rack submetidos à compressão centrada, foi feita também a análise não linear considerando os efeitos das não linearidades geométricas e as propriedades elastoplásticas do aço para a análise do comportamento pós crítico e da capacidade resistente dos perfis. Nesta etapa, é fundamental a introdução das imperfeições geométricas no modelo. Para isto, foi feita inicialmente a análise linear de estabilidade, apresentada no item 4.1, onde foram obtidos os modos de instabilidade do pilar. Em seguida, a configuração obtida foi utilizada para atualizar a geometria do modelo, através da aplicação de um fator de imperfeição obtido pelas medidas realizadas nos corpos de prova não ensaiados (apresentados na Tabela 9).

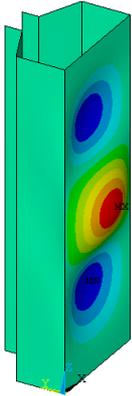
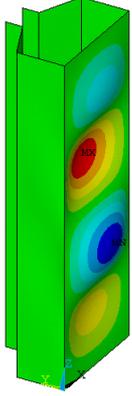
Em todas as análises a linguagem de programação do software ANSYS 14, APDL (ANSYS Parametric Design Language), foi utilizada com o objetivo de automatizar a construção do modelo e viabilizar a parametrização das análises.

4 Resultados e discussões

4.1 Análise linear de estabilidade

Nas análises lineares de estabilidade foram obtidas as cargas críticas e os modos de instabilidade. A Tabela 3 ilustra os dois primeiros modos observados para seção sem furos, obtidos através do software GBTUL e ANSYS.

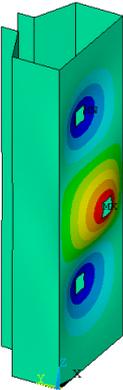
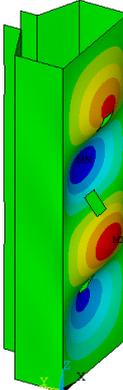
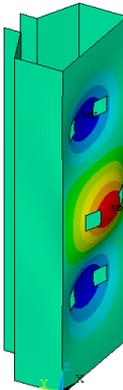
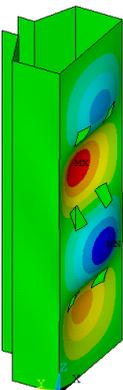
Tabela 3 - Modos de instabilidade da série SF através do GBTUL e ANSYS

GBTUL		ANSYS	
1° Modo	2° Modo	1° Modo	2° Modo
			
$P_{CR-1,5} = 80,47 \text{ kN}$	$P_{CR-1,5} = 80,91 \text{ kN}$	$P_{CR-1,5} = 79,00 \text{ kN}$	$P_{CR-1,5} = 79,01 \text{ kN}$
$P_{CR-1,8} = 139,01 \text{ kN}$	$P_{CR-1,8} = 139,78 \text{ kN}$	$P_{CR-1,8} = 136,24 \text{ kN}$	$P_{CR-1,8} = 136,25 \text{ kN}$
$P_{CR-1,5}$ - Carga crítica para perfis com espessura de 1,5 mm $P_{CR-1,8}$ - Carga crítica para perfis com espessura de 1,8 mm			

Comparando-se as cargas críticas, observa-se diferença de 1,8% e 1,9% para os protótipos SF-1,5 e SF-1,8 aproximadamente, o que demonstra a viabilidade do modelo via elementos finitos na análise. Observa-se também a proximidade entre as cargas críticas para os modos de instabilidade, indicando a possibilidade da ocorrência do modo local com a formação de três (1º modo) ou quatro meias ondas (2º modo). Assim, qualquer dos modos citados poderá prevalecer como dominante ou ocorrer a interação destes, o que foi observado nos ensaios experimentais.

Para os perfis perfurados, apenas o programa ANSYS 14 foi utilizado, em função do GBTUL não possibilitar seções com perfurações. Os dois primeiros modos associados a flambagem local foram expandidos e as cargas críticas comparadas. Diferentemente da seção sem furos, a carga crítica do segundo modo apresentou uma diferença de 12,7% quando comparada com o primeiro. Isto indica a ocorrência do modo local com a formação de três meias ondas (1º modo), uma vez que sua carga crítica é menor. Os modos de instabilidade observados para as séries com furos são representados na Tabela 4.

Tabela 4 - Modos de instabilidade das séries 3Fe 6F através do ANSYS

Série 3F		Série 6F	
1º Modo	2º Modo	1º Modo	2º Modo
			
$P_{CR-1,5} = 77,2 \text{ kN}$	$P_{CR-1,5} = 87,1 \text{ kN}$	$P_{CR-1,5} = 75,6 \text{ kN}$	$P_{CR-1,5} = 82,5 \text{ kN}$
$P_{CR-1,8} = 133,2 \text{ kN}$	$P_{CR-1,8} = 150,2 \text{ kN}$	$P_{CR-1,8} = 130,4 \text{ kN}$	$P_{CR-1,8} = 142,4 \text{ kN}$
$P_{CR-1,5}$ - Carga crítica para perfis com espessura de 1,5 mm $P_{CR-1,8}$ - Carga crítica para perfis com espessura de 1,8 mm			

4.2 Análise não linear

A fim de analisar o comportamento pós-crítico e o esforço resistente da estrutura, foi realizada a análise não linear dos modelos, com a introdução das imperfeições geométricas e das propriedades elastoplásticas do aço.

Na série de protótipos sem furos, houve a interação dos dois primeiros modos de instabilidade, inicialmente observada nas análises numéricas e comprovada pelos ensaios experimentais. Nas séries com três e seis furos, predominou o primeiro modo, com a formação de três meias ondas associadas a flambagem local. A Tabela 5

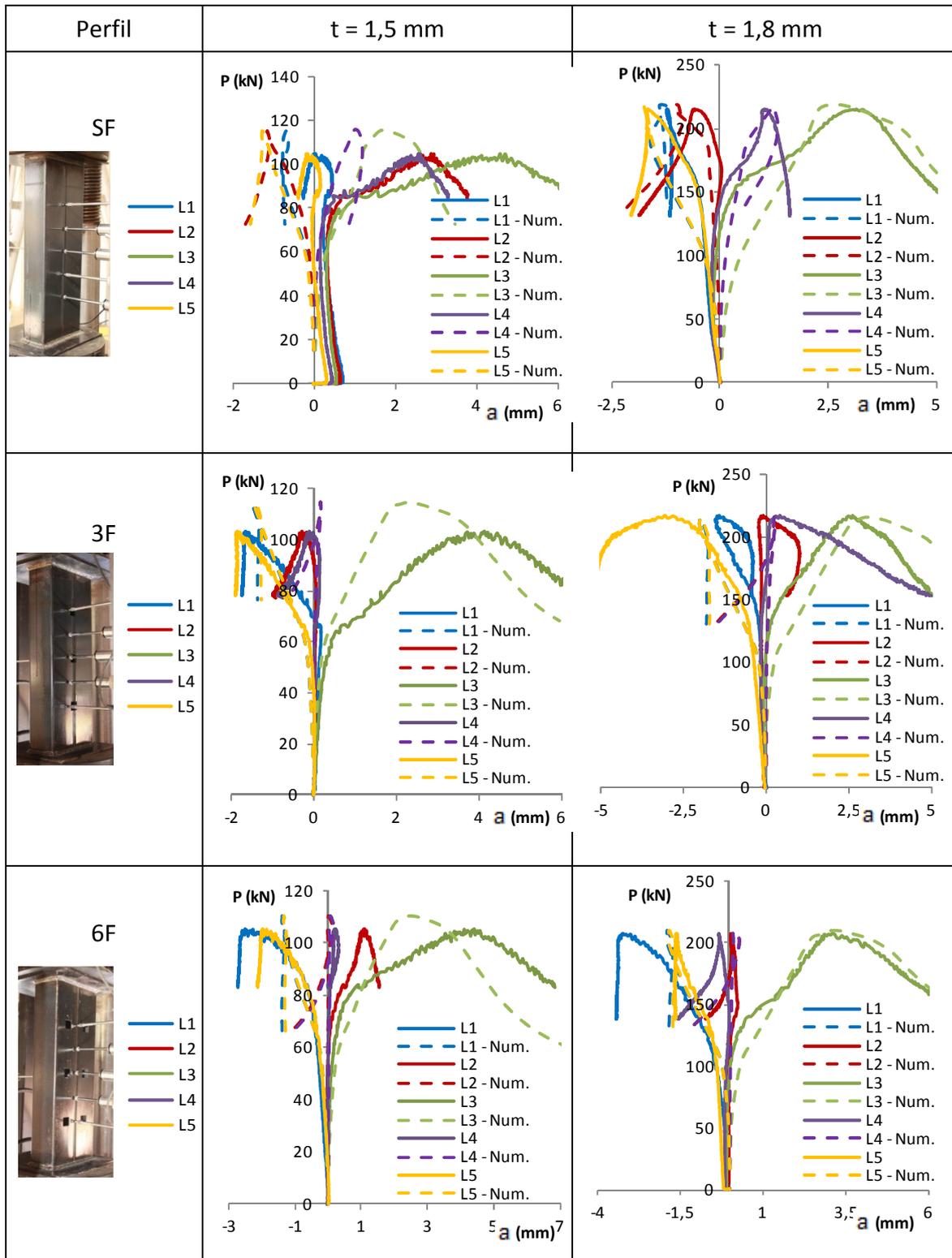
apresenta os deslocamentos observados ao longo da alma do modelo numérico (curvas contínuas) e a comparação com os resultados experimentais (curvas tracejadas). O eixo das ordenadas representa a região onde os transdutores de deslocamentos foram fixados, sendo ilustrada pelas fotos de cada protótipo ensaiado.

Tabela 5 - Comparação das amplitudes da alma (a) a cada intervalo de força (P)

Perfil	t = 1,5 mm	t = 1,8 mm
SF	<p> y (cm) 11 5,5 0 -5,5 -11 a (mm) -1,5 -0,5 0,5 1,5 2,5 3,5 — P=60,51 kN - - P=60,51 kN - Num. — P=81,39 kN - - P=81,39 kN - Num. — P=100,61 kN - - P=100,61 kN - Num. </p>	<p> y (cm) 11 5,5 0 -5,5 -11 a (mm) -2 -1 0 1 2 3 4 — P=140,94 kN - - P=140,94 kN - Num. — P=180,26 kN - - P=180,26 kN - Num. — P=214,18 kN - - P=214,18 kN - Num. </p>
3F	<p> y (cm) 9 4 -6 -11 a (mm) -2 -1 0 2 4 — P=60,70 kN - - P=60,70 kN - Num. — P=80,21 kN - - P=80,21 kN - Num. — P=100,35 kN - - P=100,35 kN - Num. </p>	<p> y (cm) 9 4 -6 -11 a (mm) -2 -1 0 2 4 — P=141,18 kN - - P=141,18 kN - Num. — P=178,49 kN - - P=178,49 kN - Num. — P=216,11 kN - - P=216,11 kN - Num. </p>
6F	<p> y (cm) 11 5,5 0 -5,5 -11 a (mm) -2 0 2 4 — P=60,84 kN - - P=60,84 kN - Num. — P=80,12 kN - - P=80,12 kN - Num. — P=100,38 kN - - P=100,38 kN - Num. </p>	<p> y (cm) 11 5,5 0 -5,5 -11 a (mm) -2 -0,5 2,5 4 — P=140,53 kN - - P=140,53 kN - Num. — P=160,22 kN - - P=160,22 kN - Num. — P=200,43 kN - - P=200,43 kN - Num. </p>

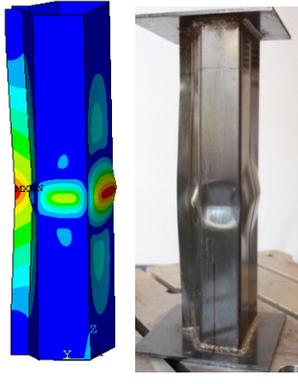
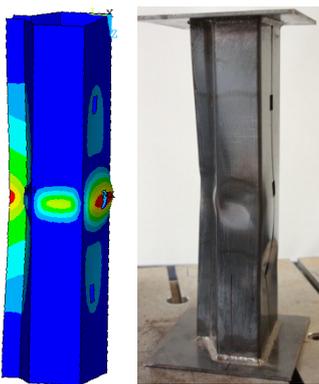
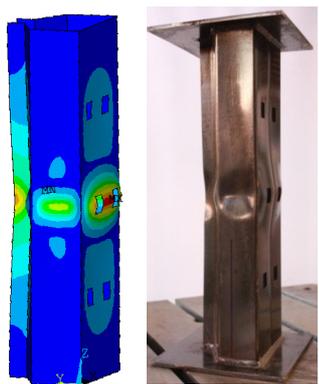
A Tabela 6 apresenta as curvas força (P) versus deslocamento (a) na alma para os protótipos ensaiados e sua comparação com os dados experimentais. As siglas L1 a L5 e L1-Num a L5-Num representam os resultados experimentais, obtidos por meio dos LVDT's, e resultados numéricos via ANSYS, respectivamente.

Tabela 6 - Comparação entre os deslocamentos da alma para cada protótipo



A Tabela 7 compara os modelos numéricos do ANSYS 14 com os protótipos ensaiados ao nível de carregamento médio de 210 kN. Nota-se boa correlação entre os resultados, o que indica a capacidade do modelo numérico na previsão do comportamento real.

Tabela 7 - Deslocamentos no enrijecedor, flange e na alma do perfil

SF-1,8-CP1	3F-1,8-CP2	6F-1,8-CP2
		

4.3 Considerações sobre as comparações de resultados

Observa-se, em geral, boa correlação entre as cargas críticas numéricas e experimentais. A existência dos furos na alma possui pouca influência sobre a carga crítica, como é observado nos valores da Tabela 8 a seguir.

Os modelos numéricos possuem grande sensibilidade às imperfeições geométricas, o que leva à dispersão entre os resultados numéricos e experimentais. Assim, estas imperfeições devem ser cuidadosamente inseridas no modelo numérico por meio da atualização da geometria inicial a partir dos modos observados. A Tabela 9 apresenta os modos de instabilidade e os fatores de amplitude utilizados na introdução das imperfeições nos modelos numéricos dos protótipos ensaiados.

Tabela 8 - Comparação das cargas críticas numéricas e experimentais

Protótipo	P_{CR-NUM} (kN)	P_{CR-EXP} (kN)	P_{CR-NUM} / P_{CR-EXP}
SF-1,5-CP1	79,0	77,0	1,026
SF-1,5-CP2	79,0	78,0	1,013
SF-1,8-CP1	136,2	136,0	1,001
SF-1,8-CP2	136,2	121,0	1,126
3F-1,5-CP1	77,2	65,0	1,187
3F-1,5-CP2	77,2	60,0	1,286
3F-1,8-CP1	133,2	105,0	1,269
3F-1,8-CP2	133,2	133,0	1,001
6F-1,5-CP1	75,6	71,0	1,065
6F-1,5-CP2	75,6	70,0	1,080
6F-1,8-CP1	130,4	123,0	1,060
6F-1,8-CP2	130,4	125,0	1,043

Tabela 9 - Modos e coeficientes de imperfeições

Protótipos	Modos associados a flambagem local	Coeficientes de imperfeições (mm)	
		1° modo	2° modo
SF-1,5-CP1,CP2	1° e 2° modos	0,1	-0,05
SF-1,8-CP1,CP2	1° e 2° modos	0,2	-0,05
3F-1,5-CP1,CP2	1° modo	0,1	-
3F-1,8-CP1,CP2	1° modo	0,1	-
6F-1,5-CP1,CP2	1° modo	0,1	-
6F-1,8-CP1,CP2	1° modo	0,1	-

5 Conclusões

O objetivo deste trabalho foi avaliar a ocorrência do modo associado a flambagem local de placa, em pilares curtos constituídos por perfis formados a frio tipo *rack*, de sistemas de armazenagem. Estes elementos possuem perfurações ao longo de seu comprimento para facilitar a montagem. Este trabalho considerou a influência destas perfurações no comportamento dos perfis estruturais. Foram realizadas análises numéricas e experimentais. Os resultados indicaram a pequena influência das perfurações na capacidade resistente final da estrutura e na carga crítica associada a flambagem local, apesar de serem determinantes na definição do número de meias ondas formadas no modelo. Observou-se ainda significativa influência das imperfeições no comportamento pós-crítico dos pilares, indicando a necessidade de sua introdução de forma criteriosa nos modelos numéricos via elementos finitos.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à pesquisa do estado de Minas Gerais - FAPEMIG e da empresa Águia Sistemas de Armazenagem, Ponta Grossa – PR.

7 Referências bibliográficas

ÁGUIA. **Águia Sistemas de Armazenagem**: catálogo. Ponta Grossa. 2011.

ÁGUIA. Disponível em: < <http://www.aguiasistemas.com.br/aguiasistemas/>>. Acesso em: 15 out. 2013.

ANSYS. **Manual de operação versão 14**. Swanson Analysis Systems Inc. Inc, Houston, PA. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 6892**: Materiais metálicos - Ensaio de tração à temperatura ambiente. Rio de Janeiro. 2002.

BEBIANO R., PINA P., SILVESTRE N., CAMOTIM D. **GBTUL – Buckling and Vibration Analysis of Thin-Walled Members**. DECivil/IST, Technical University of Lisbon (<http://www.civil.ist.utl.pt/gbt>). 2008.

FREITAS, A. M. S. ; FREITAS, M. S. R. ; SOUZA, F. T. **Finite element simulation of perforated rack sections columns**. In: Research and Applications in Structural Engineering, Mechanics and Computation, Cidade do Cabo. Proceedings of Research and Applications in Structural Engineering, Mechanics and Computation. Londres: Taylor & Francis Group, 20, v. 1. p. 1149-1153, 2013.

FREITAS, A. M. S. ; FREITAS, M. S. R. ; SOUZA, F. T. ; SILVA, G. G. ; FARIA, V. O. **Theoretical and experimental analysis of perforated rack columns.** REM. Revista Escola de Minas (Impresso), v. 66, p. 289-294, 2013.

FREITAS, A. M. S. ; FREITAS, M. S. R. ; SOUZA, F. T. **Theoretical analysis of perforated rack columns. In: International Colloquium Stability and Ductility of Steel Structures.** Rio de Janeiro. Proceedings of International Colloquium Stability and Ductility of Steel Structures. Rio de Janeiro: Federal University of Rio de Janeiro, . v. 2. p. 953-960, 2010.

FREITAS, A. M. S. ; FREITAS, M. S. R. ; SOUZA, F. T. **Analysis and behavior of steel storage drive-in racks.** Thin-Walled Structures, v. 48, p. 110-117, 2010.

GODLEY, M.H. R. **Storage Racking In Design of Cold Formed Steel Members.** Chapter 11, Ed Rhodes . Elsevier Applied Science, Amsterdam, p. 361-399, 1991.

HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIC. **Manual de operação Catman 4.5.** 2003b.

HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIC. **Manual de operação Spider8 e Spider8-30.** 2003a.

INSTRON. Manual de operação Partner versão 8.4a. 2008.

SILVA, G. G. **Análise teórico-experimental de colunas perfuradas.** Dissertação de Mestrado, UFOP. 2011.