

CONSTRU METAL 2025

10º CONGRESSO LATINO-AMERICANO
DA CONSTRUÇÃO METÁLICA

CONTRIBUIÇÕES
TECNOCIENTÍFICAS

Allianz Parque

▄▄▄▄ **Análise experimental de colunas de perfil duplo rack submetidas à compressão centrada**

Autores:

Lucas Roquete

Matheus Miranda de Oliveira

Jean Bernardo Dias Viol

Paulo Henrique Salgado Amorim

Gilney Afonso Gonçalves

Arlene M. C. Sarmanho

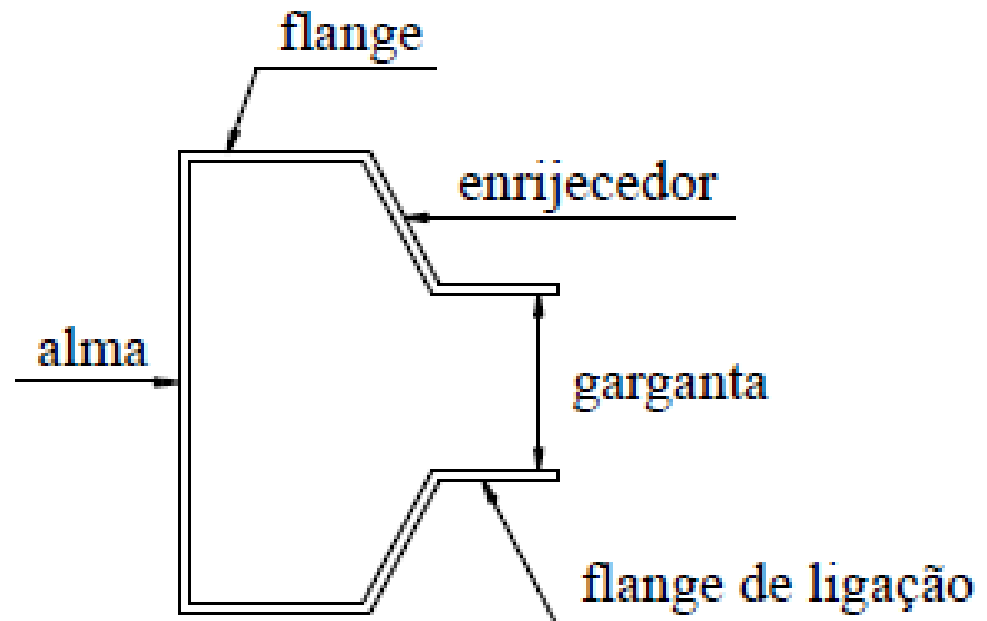
CONSTRU
METAL
2025

09 SET

Allianz Parque
São Paulo-SP

Introdução

Os perfis formados a frio (PFF's) são obtidos por dobramento em temperatura ambiente. Dentre as diversas seções de perfis formados a frio, tem-se a seção tipo rack ou garrafa, que será o objeto deste trabalho.



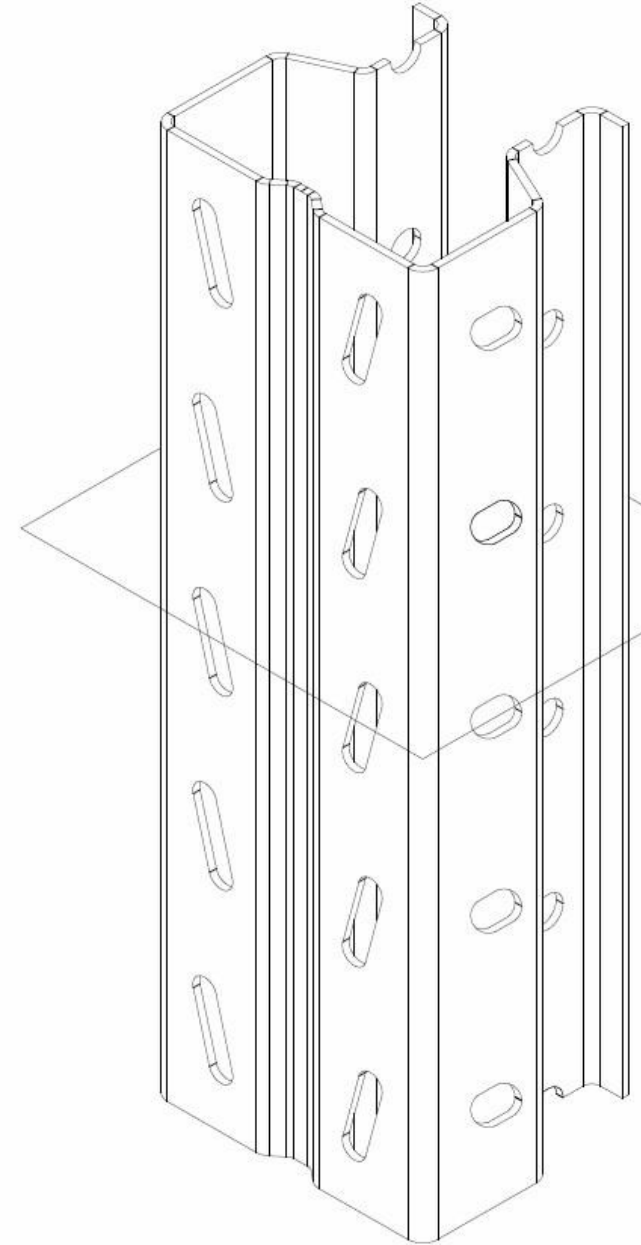
Aplicações estruturais dos perfis formados a frio têm-se os Sistemas de Armazenagem Industrial conhecidos também como RACKs. Geralmente, esses sistemas apresentam elementos com elevada esbeltez e imperfeições geométricas devidas à fabricação e montagem.



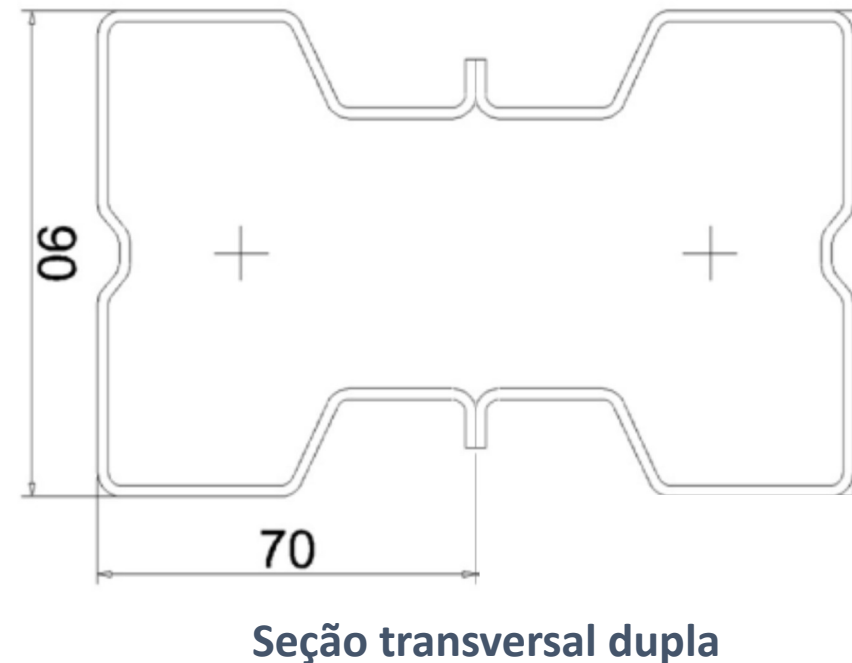
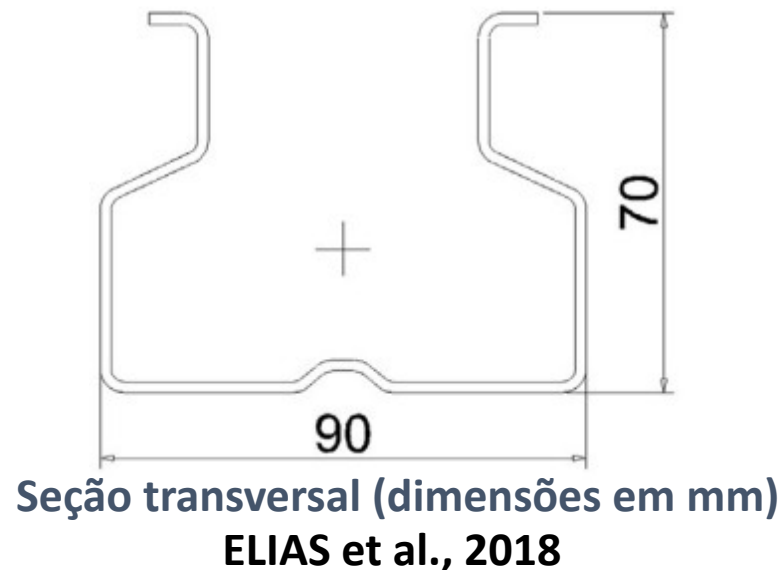
Sistema de armazenamento industrial em perfis formados a frio
Fonte: Água Sistemas (2018)

A seção rack é caracterizada por:

- seção aberta, apresentando perfurações de configurações diversas ao longo de seu comprimento (facilitando o encaixe das ligações);
- possuindo flanges de ligação que permitem a fixação do sistema de contraventamento diretamente no perfil, facilitando e agilizando a montagem nos depósitos.



O objetivo deste trabalho é avaliar experimentalmente a capacidade resistente de colunas curtas em perfis de parede esbelta de seção dupla tipo rack, comparadas a perfis simples do tipo rack, de forma a julgar sua viabilidade técnica e econômica.



Perfis submetidos à compressão

Os possíveis modos de colapso de um perfil formado a frio são: escoamento, flambagem local, flambagem global e flambagem distorcional.

O cálculo da força axial de compressão resistente, na ocorrência do escoamento, é feito de acordo com a Equação 1, sendo A a área da seção e f_y a resistência ao escoamento do aço.

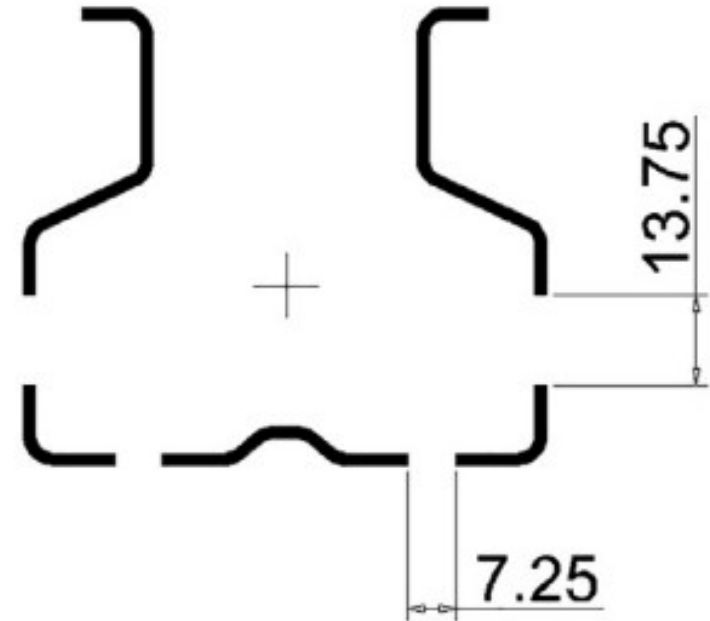
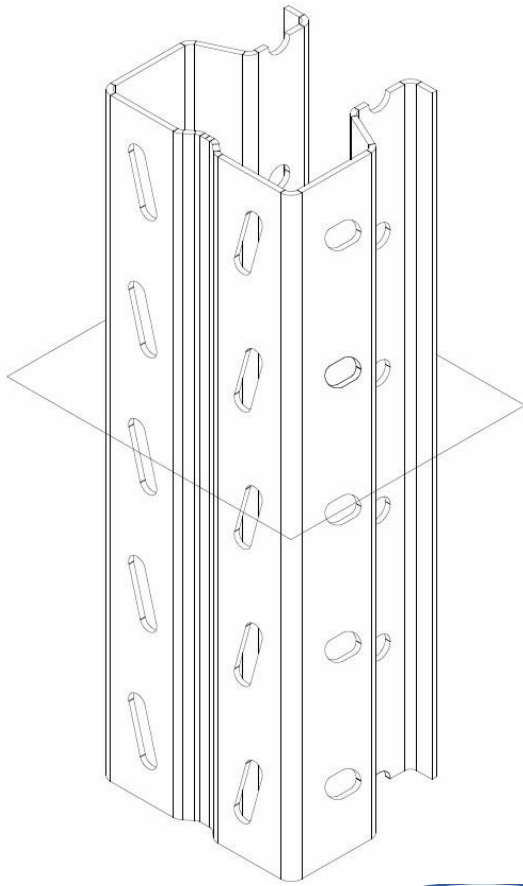
$$N_{c,Rk} = Af_y \quad (1) \quad (1)$$

- A NBR 14762 (2010) não aborda os perfis de seção rack com furos em todo o comprimento.

- Na presença de furos na seção transversal se define a área líquida da seção.

- Perfis rack possui seções com diferentes configurações de furos. Trabalha-se com a menor área.

- A área líquida da seção $A_{net,min}$: um plano que intercepte o maior número de perfurações existentes ao longo do comprimento da coluna.



Área líquida
mínima

ELIAS et al. (2018) analisou
teoricamente e experimentalmente
painéis contraventados de sistemas de
armazenagem.

ANÁLISE EXPERIMENTAL

Ensaio realizado utilizando-se três colunas de aço duplo rack com tensão de escoamento (f_y) igual a 374,22 MPa determinada por meio de ensaio de caracterização do aço.

Foi considerada a seção transversal do tipo rack, estudada por Elias (2018).

b_f (mm)	t (mm)	A_g (cm ²)	A_c (cm ²)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	C_x (cm ³)	J (cm ⁶)	b_f (mm)	t (mm)	A_g (cm ²)	A_c (cm ²)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	C_x (cm ³)	J (cm ⁶)	b_f (mm)	t (mm)	A_g (cm ²)	A_c (cm ²)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	C_x (cm ³)	J (cm ⁶)	b_f (mm)	t (mm)	A_g (cm ²)	A_c (cm ²)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	C_x (cm ³)	J (cm ⁶)																																								
90	2,00	5,24	4,40	30,28	59,67	779,63	0,0698	90	2,00	5,24	4,40	30,28	59,67	779,63	0,0698	90	2,00	5,24	4,40	30,28	59,67	779,63	0,0698	90	2,00	5,24	4,40	30,28	59,67	779,63	0,0698																																								
								90								2,00								5,24								4,40								30,28								59,67								779,63								0,0698							

Para a formação do perfil de ensaio, foram realizadas soldas ponteadas unindo duas seções a uma distância padronizada de 250 mm.



Nº da coluna	Comprimento (mm)
Coluna 1	548
Coluna 2	549
Coluna 3	551



Após a união dos perfis as propriedades foram recalculadas com o auxílio do software GBTUL em sua versão 2.0.4.2

h_x (mm)	A_x (cm ²)	A_y (cm ²)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	C_x (cm ³)	C_y (cm ³)	I_{xx} (mm ⁴)	I_{yy} (mm ⁴)	I_{xy} (mm ⁴)	A_x (cm ²)	A_y (cm ²)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	C_x (cm ³)	C_y (cm ³)	I_{xx} (mm ⁴)	I_{yy} (mm ⁴)	I_{xy} (mm ⁴)	A_x (cm ²)	A_y (cm ²)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	C_x (cm ³)	C_y (cm ³)	I_{xx} (mm ⁴)	I_{yy} (mm ⁴)	I_{xy} (mm ⁴)	A_x (cm ²)	A_y (cm ²)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	C_x (cm ³)	C_y (cm ³)
90	2,00	10,48	8,80	119,57	273,72	670,37	189,75	10	10	2,00	10,48	8,80	119,57	273,72	670,37	189,75	90	2,00	10,48	8,80	119,57	273,72	670,37	189,75	10	10	2,00	10,48	8,80	119,57	273,72	670,37	189,75
90	2,00	10,48	8,80	119,57	273,72	670,37	189,75	90	2,00	10,48	8,80	119,57	273,72	670,37	189,75	90	2,00	10,48	8,80	119,57	273,72	670,37	189,75	90	2,00	10,48	8,80	119,57	273,72	670,37	189,75		

- A coluna foi centrada nas rótulas de ensaio com o uso de papel milimetrado com a marcação do centro geométrico da seção.

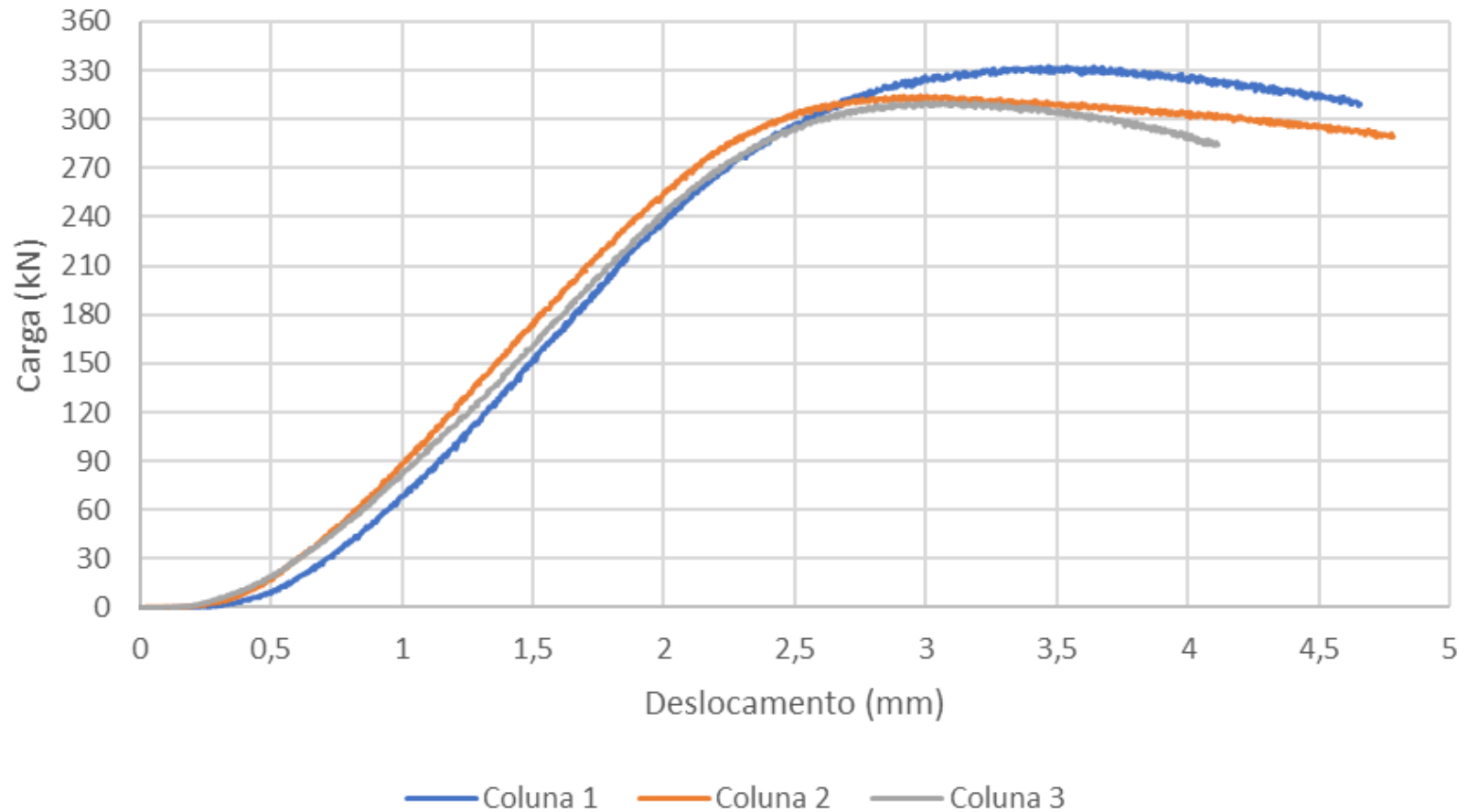
- O ensaio foi realizado com controle de deslocamentos

- Velocidade do ensaio (com duas zonas de controle):
 - 1 mm/min até atingir 500 N;
 - 0,2 mm/min até o fim do ensaio.

- O critério de parada é após atingir a carga última quando a curva carga versus deslocamento declina.

RESULTADOS

Curvas de carga versus deslocamento



Coluna 1: 332,53 kN

Coluna 2: 314,04 kN

Coluna 3: 309,95 kN



Coluna 1



Coluna 2



Coluna 3

Áreas dos perfis e suas forças axiais de compressão resistente de cálculo

Perfil	Área líquida mínima (cm ²)	N _{c,Rk} (kN)
Rack	4,40	164,65
Duplo Rack	8,80	329,31

Apenas por comparação, utilizou-se o método da seção efetiva (MSE) para calcular a capacidade resistente do perfil, para a seção rack apresentado na NBR 14762 (2010):

Coluna	N _{c,R(exp)} (kN)	N _{c,R(MSE)} (kN)	N _{c,R(escoamento puro)} (kN)	Coluna	N _{c,R(exp)} (kN)	N _{c,R(MSE)} (kN)	N _{c,R(escoamento puro)} (kN)	Coluna	N _{c,R(exp)} (kN)	N _{c,R(MSE)} (kN)	N _{c,R(escoamento puro)} (kN)
1	332,53			1	332,53			1	332,53		
2	314,04	304,90		2	314,04	304,90		2	314,04	304,90	
3	309,95		329,31	3	309,95		329,31	3	309,95		329,31

1	332,53		
2	314,04	304,90	
3	309,95		329,31

Coluna	$N_{c,R(exp)}$ (kN)	$N_{c,R(MSE)}$ (kN)	$N_{c,R(escoamento\ puro)}$ (kN)	Coluna	$N_{c,R(exp)}$ (kN)	$N_{c,R(MSE)}$ (kN)	$N_{c,R(escoamento\ puro)}$ (kN)	Coluna	$N_{c,R(exp)}$ (kN)	$N_{c,R(MSE)}$ (kN)	$N_{c,R(escoamento\ puro)}$ (kN)
1	332,53			1	332,53			1	332,53		
2	314,04	304,90	329,31	2	314,04	304,90	329,31	2	314,04	304,90	329,31
3	309,95			3	309,95			3	309,95		

1	332,53		
2	314,04	304,90	329,31
3	309,95		

• Na Coluna 1, o valor de resistência ao escoamento experimental difere do teórico pelo método da seção efetiva em + 9,06 % e do teórico considerando apenas escoamento em + 0,98 %.

• Na Coluna 2 o valor da resistência ao escoamento foi inferior em relação ao da Coluna 1, diferindo do teórico pelo método da seção efetiva em + 3,00 % e do teórico considerando apenas escoamento em - 4,64 %.

Coluna	$N_{c,R(exp)}$ (kN)	$N_{c,R(MSE)}$ (kN)	$N_{c,R(escoamento\ puro)}$ (kN)	Coluna	$N_{c,R(exp)}$ (kN)	$N_{c,R(MSE)}$ (kN)	$N_{c,R(escoamento\ puro)}$ (kN)	Coluna	$N_{c,R(exp)}$ (kN)	$N_{c,R(MSE)}$ (kN)	$N_{c,R(escoamento\ puro)}$ (kN)
1	332,53			1	332,53			1	332,53		
2	314,04	304,90	329,31	2	314,04	304,90	329,31	2	314,04	304,90	329,31
3	309,95			3	309,95			3	309,95		

1	332,53		
2	314,04	304,90	329,31
3	309,95		

- Na Coluna 3, que obteve menor resultado, o valor da resistência obtida experimentalmente diferiu do teórico pelo método da seção efetiva em +1,66 % e do teórico considerando apenas escoamento em -5,88 %.

- Durante o ajuste dessa coluna na prensa, foi possível observar que houve imperfeições em uma ou nas duas bases fazendo com que a parte superior da prensa não toque por igual todo o contorno da base da coluna, gerando excentricidade e diminuindo a capacidade resistente

- A média das resistências encontradas no ensaio foi de , que difere do valor teórico pelo MSE em + 4,61 %, e do teórico considerando apenas escoamento em - 3,18 %.
- Destaca-se que a ocorrência ou não da flambagem local do perfil não foi observado experimentalmente.
- Outro fato que pode ser destacado é o aumento duplicado da resistência da coluna (isolada), pelo fato de se trabalhar com o perfil duplicado.
- Para o MSE, a NBR 14762 (2010) não prevê esse tipo de perfil (com furos), assim, pode não ser adequado utilizá-la.

➤ CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O objetivo foi avaliar experimentalmente a capacidade resistente de colunas curtas em perfis de parede esbelta de seção dupla tipo rack à compressão axial.
- A partir da comparação observou-se que os resultados obtidos na análise experimental apresentam proximidade dos obtidos pela análise teórica, com diferenças encontradas abaixo de 10%.
- Comparando os valores obtidos experimentalmente com os teóricos, desprezando a ocorrência de flambagem local, e considerando o escoamento da área mínima foi possível avaliar o modo de falha de escoamento puro da coluna dupla.

- A análise experimental de um maior número de colunas curtas tornaria o resultado mais consistente.

- Para análise dos fenômenos de flambagem pode ser mais indicado o ensaio em colunas longas.

- Outra forma de comparação e validação de resultados pode ser feita pela análise numérica.

➤ Agradecimentos

Os autores agradecem a UFSJ, UFOP, CNPQ e FAPEMIG

CONSTRU METAL 2025

09 SET

Allianz Parque
São Paulo-SP

10º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA

WWW.CONGRESSOCONSTRUMETAL.COM.BR



@CONGRESSOCONSTRUMETAL

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO E PROMOÇÃO



AGÊNCIA DE VIAGENS OFICIAL

