

**CONSTRU
METAL**
2023

2 1 s e t
8 h - 21 h
allianz parque
são paulo - sp

CONTRIBUIÇÕES TECNOCIENTÍFICAS

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO/PROMOÇÃO

Francal Feiras DESDE 1969

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COLUNAS EM PORTA-PALETES SELETIVOS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO CENTRADA

Felipe Castelli Sasso
Marina Naomi Furukawa
Maximiliano Malite

DEPARTAMENTO DE ENG. DE ESTRUTURAS - EESC/USP

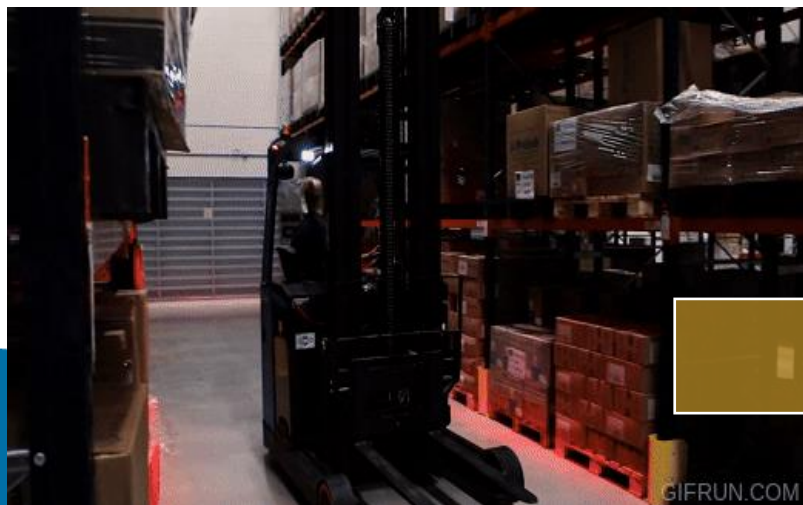
INTRODUÇÃO - Porta-Paletes Seletivos



Competitividade em custo



Flexibilidade de logística



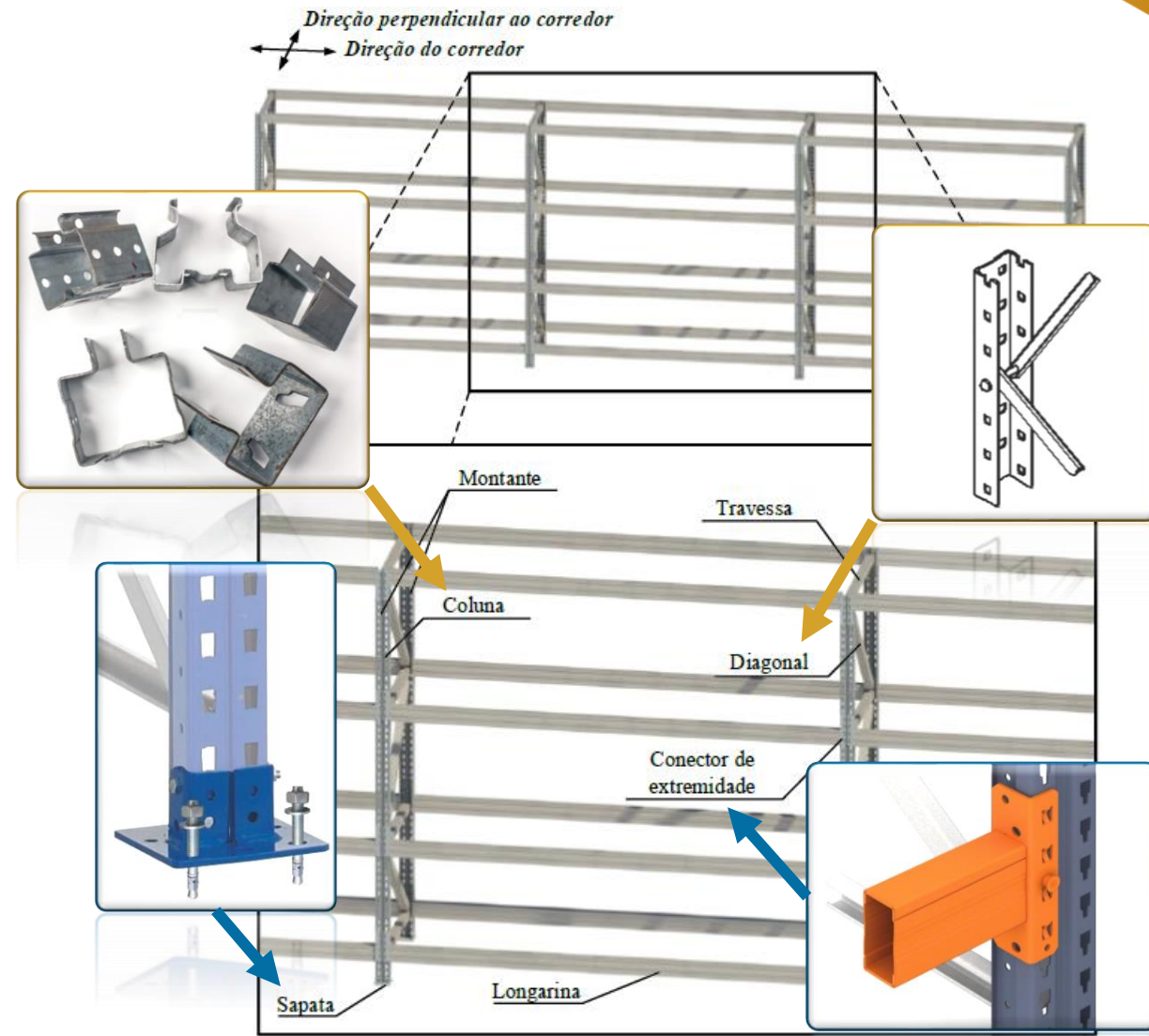
Eficiência estrutural

INTRODUÇÃO - Componentes

- ❑ Travessas;
- ❑ Diagonais;
- ❑ Colunas;
- ❑ Longarinas;
- ❑ Conectores;
- ❑ Placas de base.

Perpendicular
ao corredor

Paralelo ao
corredor



ESTABILIDADE GLOBAL

COLONAS

LIGAÇÕES SEMIRRÍGIDAS

Longarina-
Coluna

Ligação de
base



INTRODUÇÃO - Colunas Rack

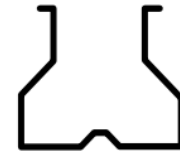
ESTABILIDADE GLOBAL

COLONAS

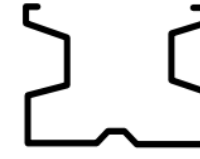
LIGAÇÕES SEMIRRÍGIDAS

Longarina-
Coluna

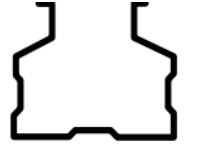
Ligação de
base



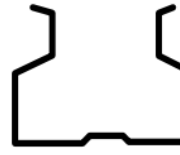
Prabha et al. (2010)
Rasmussen e Gilbert (2013)
Zhao et al. (2014)
Bernuzzi et al. (2015a)
Zhao et al. (2017)
Elias et al. (2018)



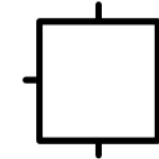
Zhao et al. (2014)
Zhao, Ren e Qin (2017)
Zhao et al. (2017)



Zhao et al. (2014)
Zhao, Ren e Qin (2017)
Zhao et al. (2017)



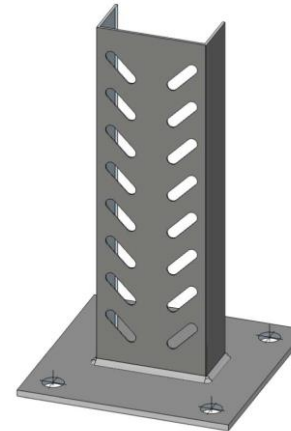
Zhao, Ren e Qin (2017)



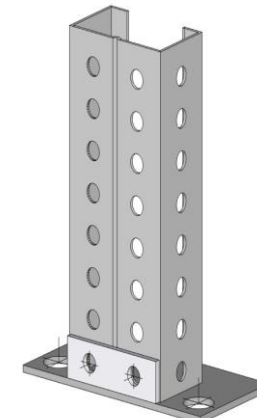
Bernuzzi et al. (2015a)



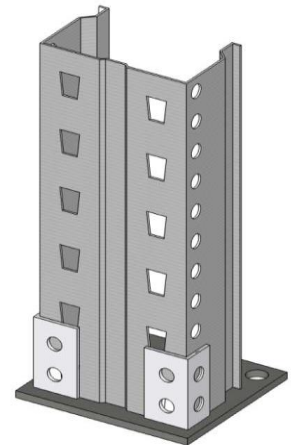
Bernuzzi et al. (2015a)



Winter e Pekoz (1973)



Godley (1998)



Diaz et al. (2006)

INTRODUÇÃO - Colunas Rack

ESTABILIDADE GLOBAL

COLONAS

LIGAÇÕES SEMIRRÍGIDAS

Longarina-
Coluna

Ligação de
base

Diferentes modos de instabilidade

Interação entre os modos de instabilidades

Tensões residuais

Efeitos não-negligenciáveis de segunda ordem

Imperfeições geométricas

Padrão de perfurações

INTRODUÇÃO - Colunas Rack

Diferentes modos de instabilidade

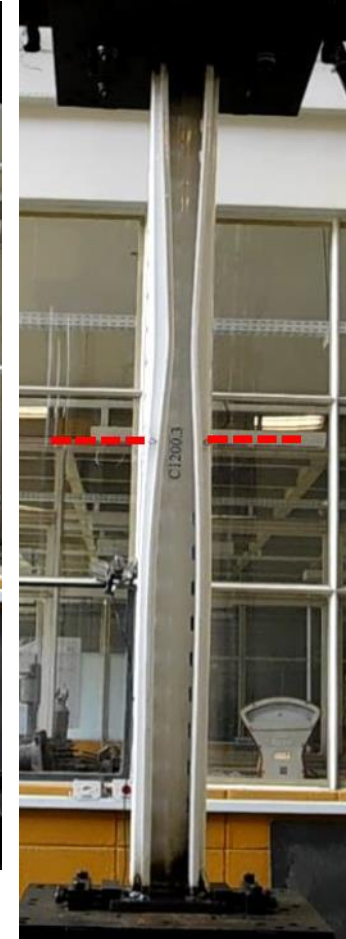
Interação entre os modos de instabilidades

Tensões residuais

Padrão de perfurações

Efeitos não-negligenciáveis de segunda ordem

Imperfeições geométricas



INTRODUÇÃO - Colunas Rack

Diferentes modos de instabilidade

Interação entre os modos de instabilidades

Tensões residuais

Padrão de perfurações

Efeitos não-negligenciáveis de segunda ordem

Imperfeições geométricas



INTRODUÇÃO - Colunas Rack

Diferentes modos de instabilidade

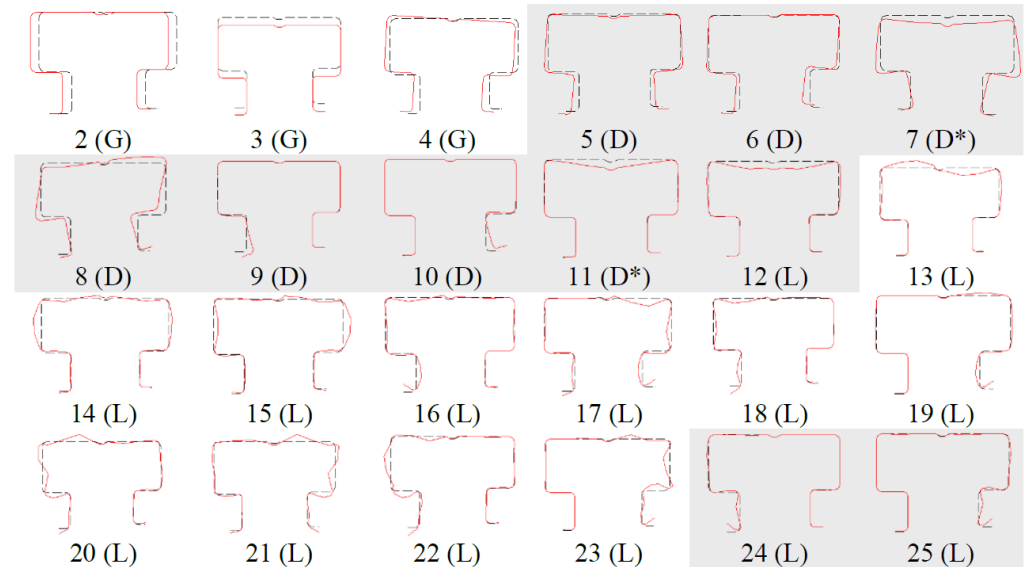
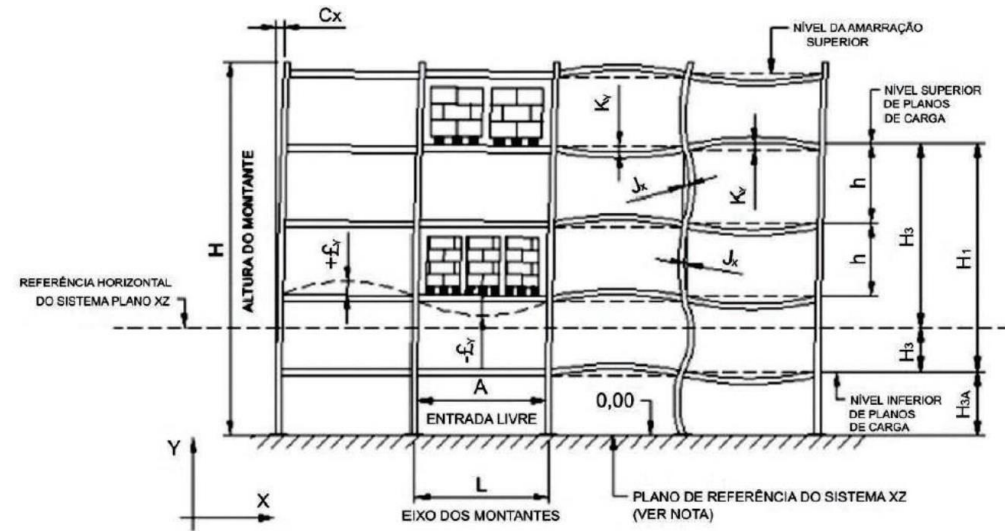
Interação entre os modos de instabilidades

Tensões residuais

Padrão de perfurações

Efeitos não-negligenciáveis de segunda ordem

Imperfeições geométricas



EFEITOS NÃO-NEGLIGENCIÁVEIS

Efeitos da perfuração

Imperfeições geométricas

Efeito pós-crítico

ANSI/AISI S100:2020

ANÁLISE LINEAR DE ESTABILIDADE

- Calibração do modelo numérico via análise comparativa com métodos analíticos especificados na ANSI/AISI S100:2020;

ANÁLISE NÃO-LINEAR DE ESTABILIDADE

- Não-linearidade física;
- Calibração do modelo numérico via análise comparativa com resultados experimentais;

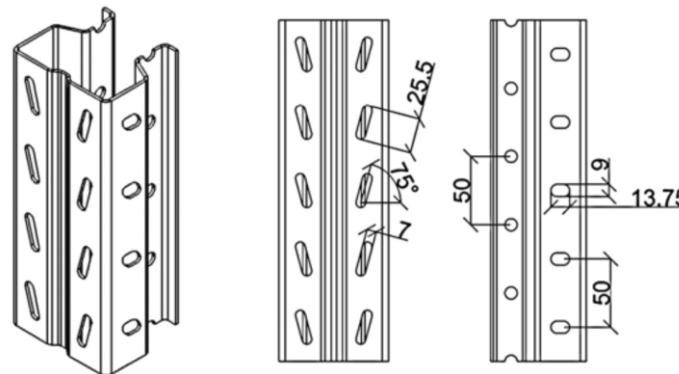
Incorporação dos modos de instabilidade

ANÁLISE COMPARATIVA

- Comparação entre os resultados analíticos, numéricos e experimentais

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E PARAMÉTRICA

- Imperfeições geométricas;
- Parâmetro: altura da coluna;



Elias *et al.* (2018)

ANSI/AISI S100:2020

INFLUÊNCIA DA PERFURAÇÃO

PROBLEMA DE AUTOVALOR

CONVERGÊNCIA E REFINAMENTO

MODO DE INSTABILIDADE

$$A_{avg} = \frac{A_g L_g + A_n L_n}{L}$$

Sendo que: $L = L_n + L_g$

$$I_{avg} = \frac{I L_g + I_n L_n}{L}$$

$$J_{avg} = \frac{J L_g + J_n L_n}{L}$$

$$x_{0,avg} = \frac{x_0 L_g + x_{0,n} L_n}{L}$$

$$y_{0,avg} = \frac{y_0 L_g + y_{0,n} L_n}{L}$$

$$r_{0,avg} = \sqrt{x_{0,avg}^2 + y_{0,avg}^2 + \frac{I_{x,avg} + I_{y,avg}}{A_{avg}}}$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_{x,avg}}{(K_x L_x)^2}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_{y,avg}}{(K_y L_y)^2}$$

$$N_{exz} = \left\{ \frac{1}{2\beta} \left[(\sigma_{ex} + \sigma_{ez}) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_{ez})^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_{ez}} \right] \right\} A_g$$

Em que:

$$\beta = 1 - \left(\frac{x_{0,avg}}{r_{0,avg}} \right)^2$$

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E I_{x,avg}}{A_g (K_x L_x)^2}$$

$$\sigma_{ez} = \frac{1}{A_g r_{0,avg}^2} \left[G J_{avg} + \frac{\pi^2 E C_{wn}}{(K_z L_z)^2} \right]$$

AN. LINEAR DE ESTABILIDADE

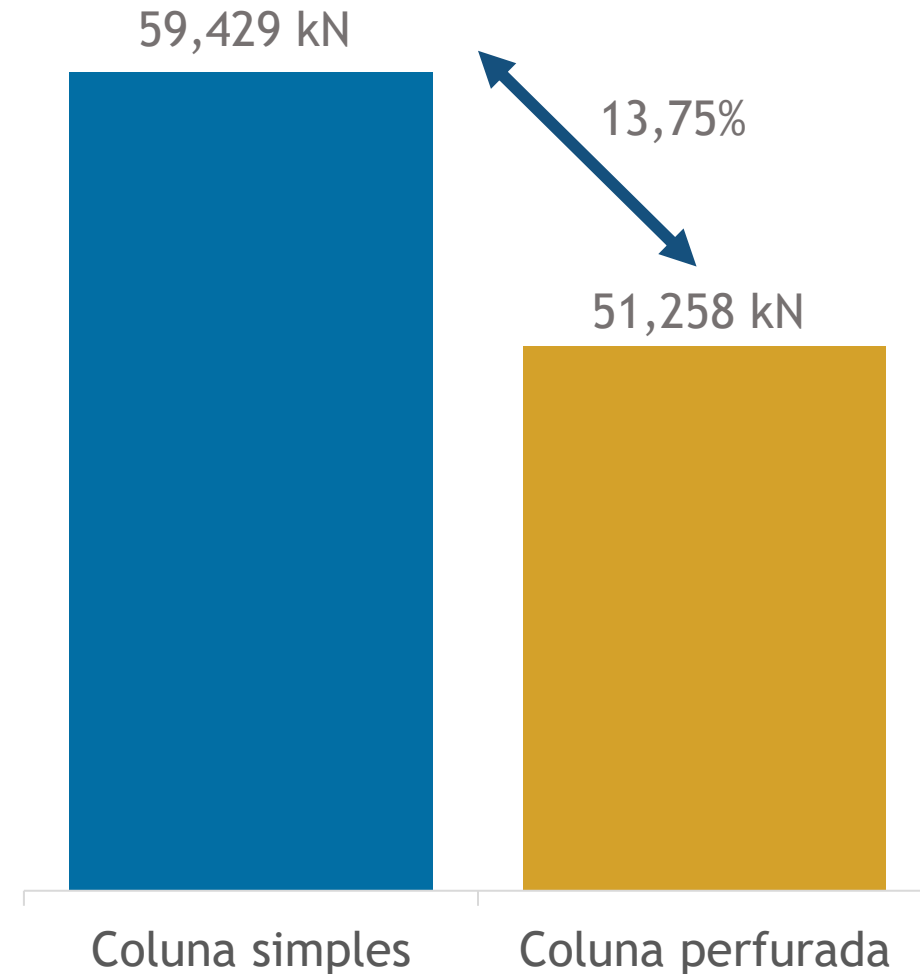
ANSI/AISI S100:2020

INFLUÊNCIA DA PERFURAÇÃO

PROBLEMA DE AUTOVALOR

CONVERGÊNCIA E REFINAMENTO

MODO DE INSTABILIDADE



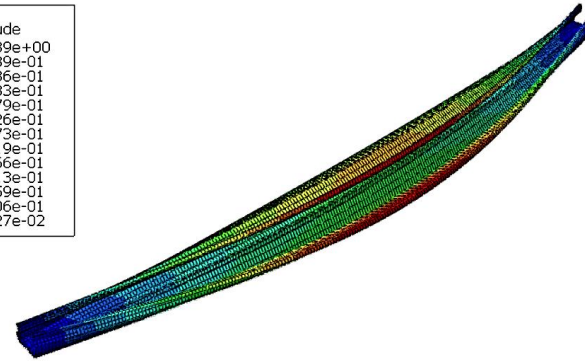
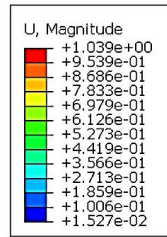
ANSI/AISI S100:2020

INFLUÊNCIA DA PERFURAÇÃO

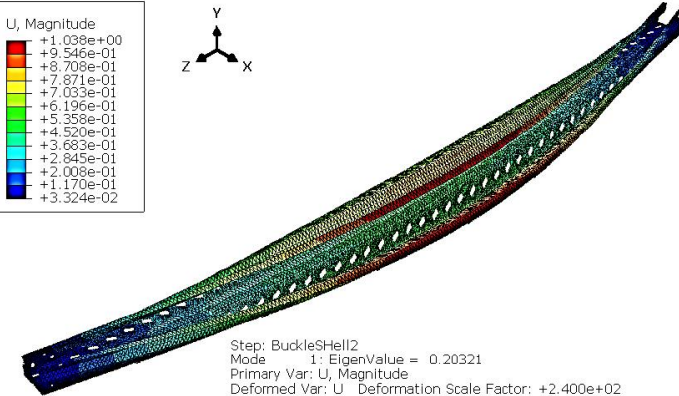
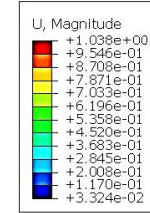
PROBLEMA DE AUTOVALOR

CONVERGÊNCIA E REFINAMENTO

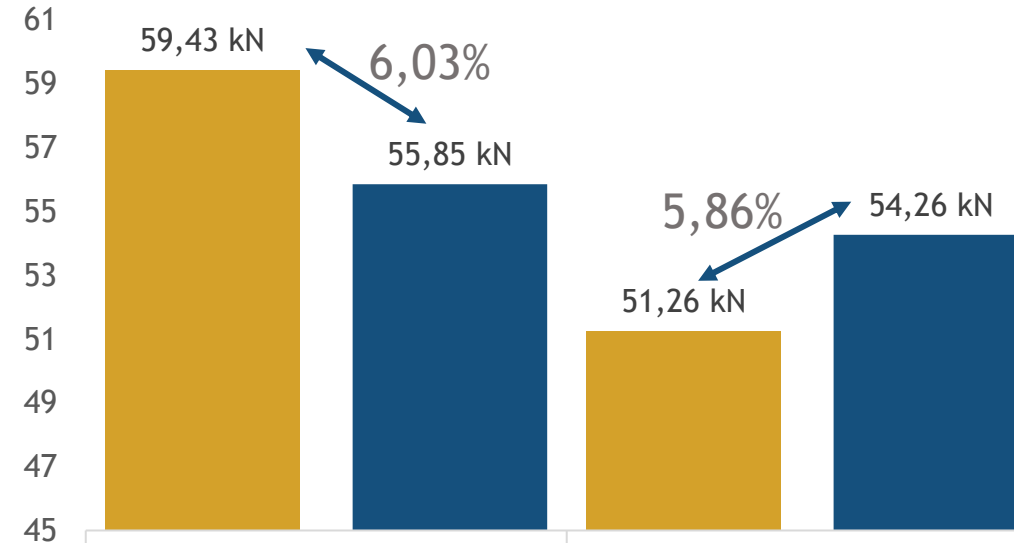
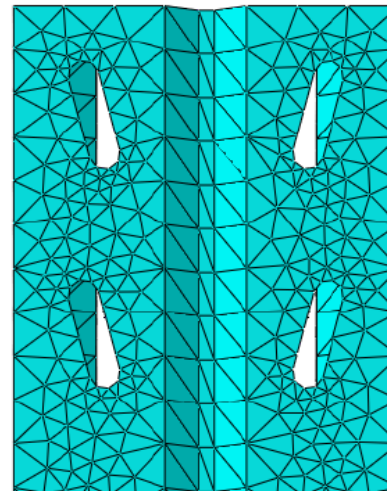
MODO DE INSTABILIDADE



Step: ShellBuckling
Mode 1: EigenValue = 0.21516
Primary Var: U, Magnitude
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +2.400e+02



Step: BuckleShell2
Mode 1: EigenValue = 0.20321
Primary Var: U, Magnitude
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +2.400e+02



Coluna simples

Coluna perfurada

AN. NÃO-LINEAR DE ESTABILIDADE

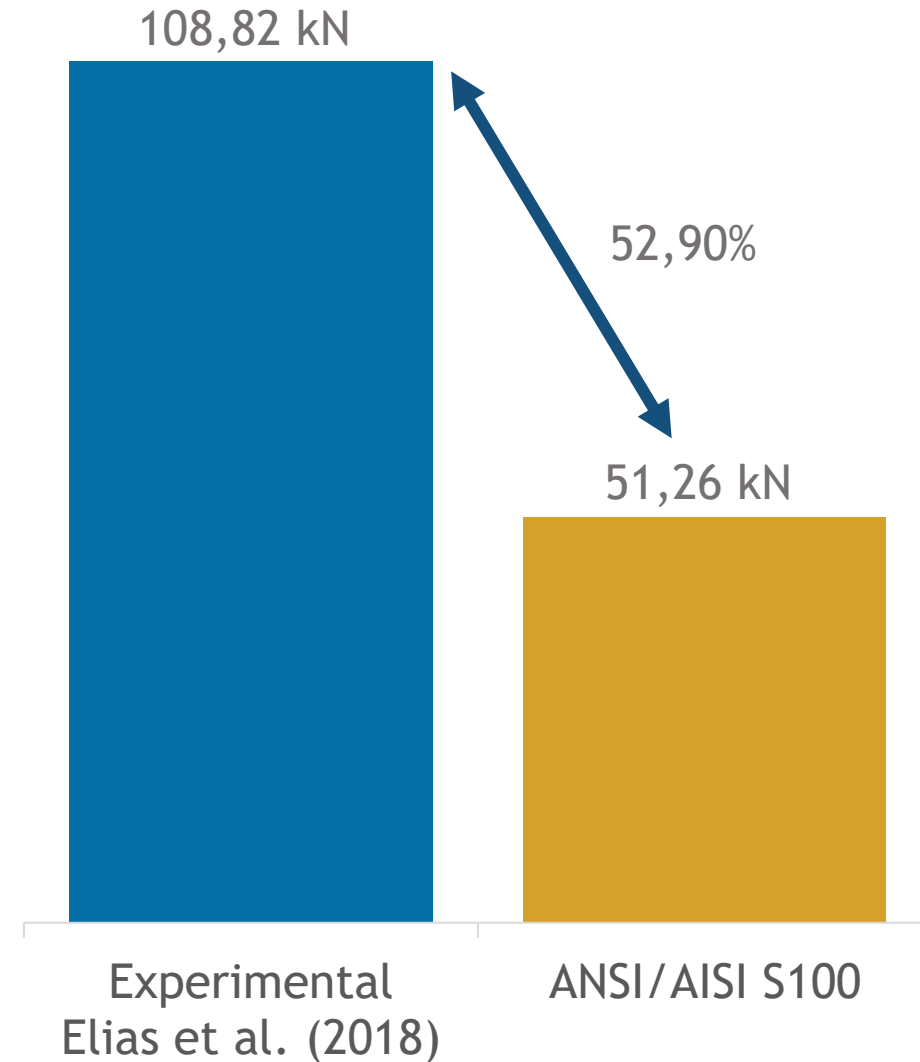
RESISTÊNCIA PÓS-CRÍTICA

EXPERIMENTAL vs ANSI/AISI S100

DESLOCABILIDADE

ESCOAMENTO vs FURAÇÃO

MODO DE INSTABILIDADE



AN. NÃO-LINEAR DE ESTABILIDADE

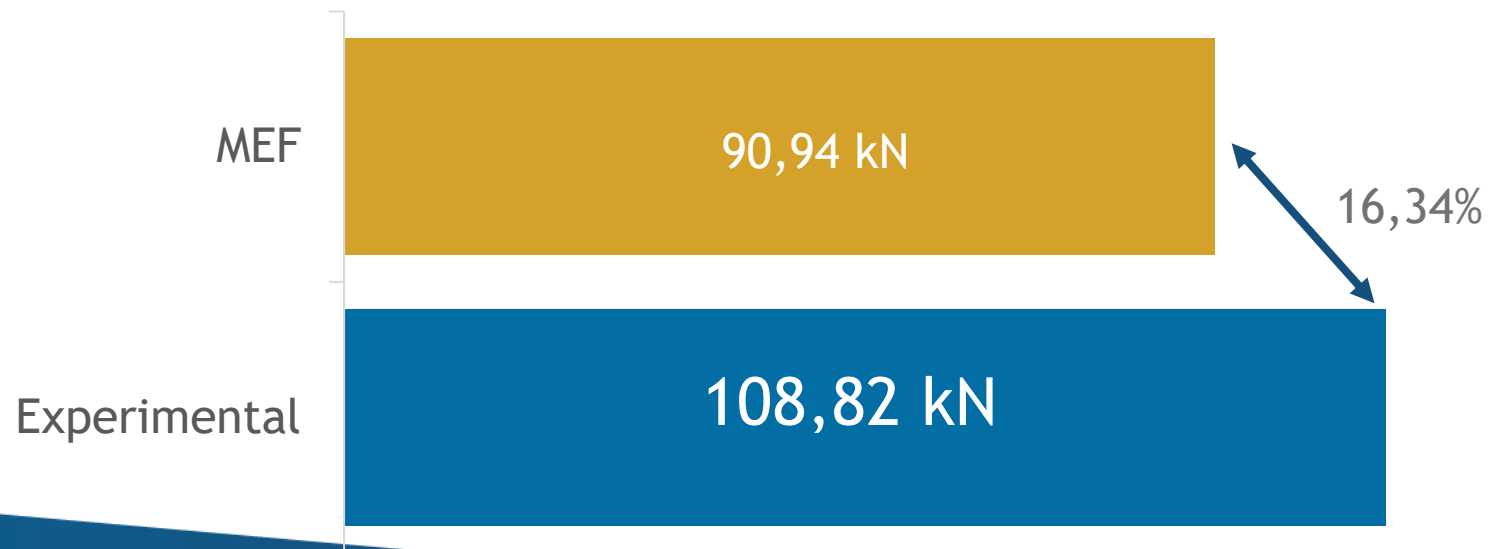
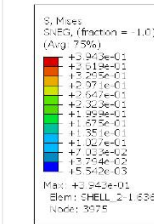
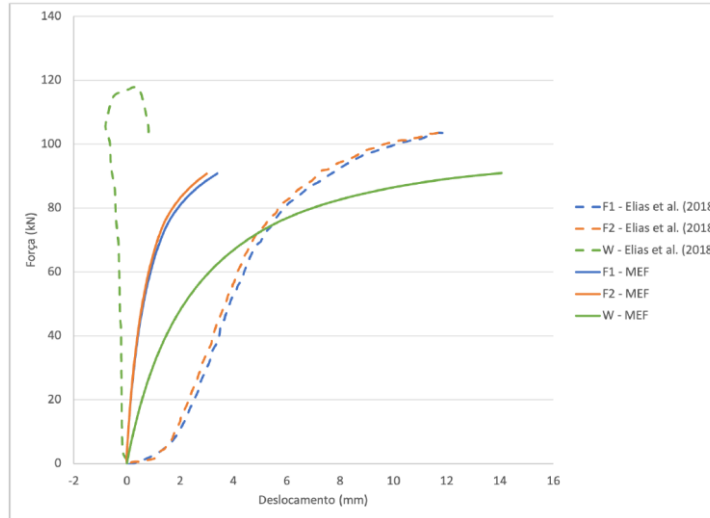
RESISTÊNCIA PÓS-CRÍTICA

EXPERIMENTAL vs ANSI/AISI S100

DESLOCABILIDADE

ESCOAMENTO vs FURAÇÃO

MODO DE INSTABILIDADE



EFEITOS NÃO-NEGLIGENCIÁVEIS

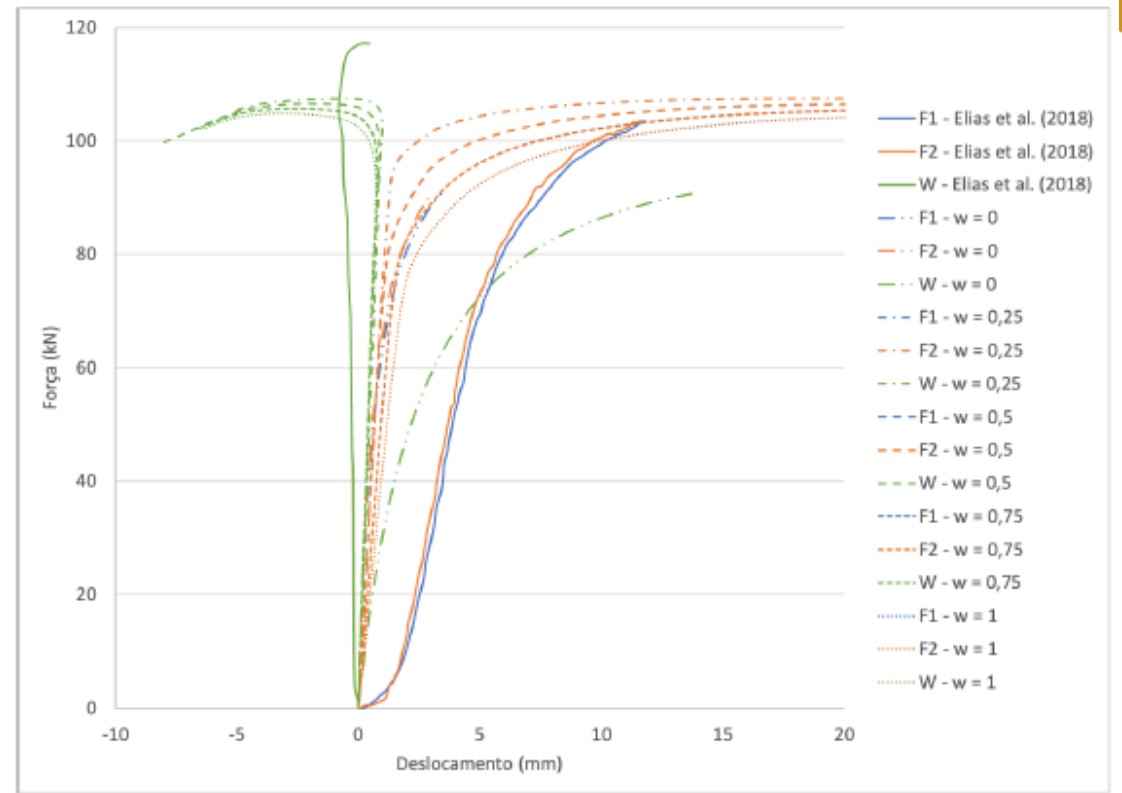
1º MODO DE FALHA

4 FATORES DE ESCALA (w)

CAPACIDADE ÚLTIMA

INSTABILIDADES E DESLOCAMENTOS

IMP. GEOMÉTRICAS



MEF

106,47 kN

Experimental

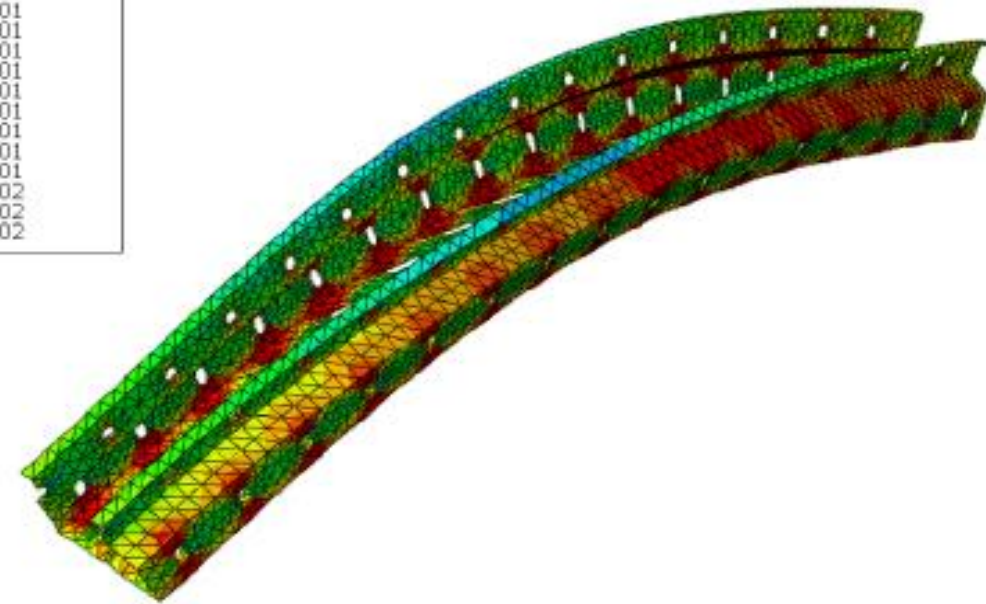
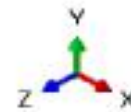
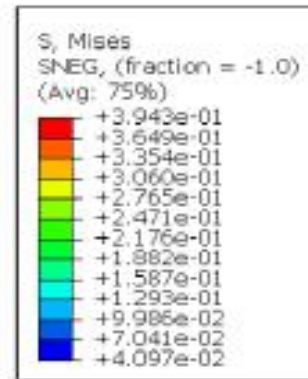
108,82 kN

2,16%

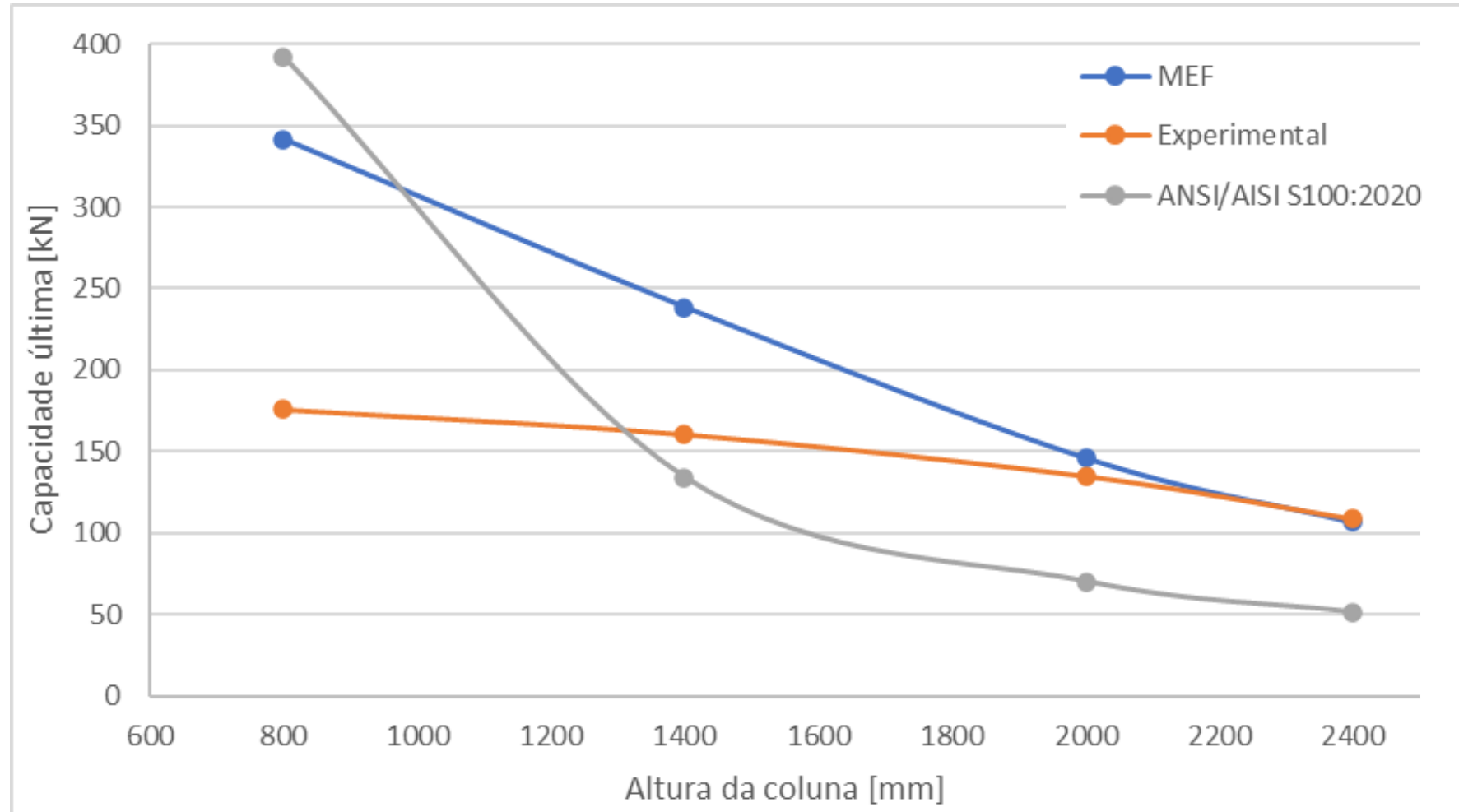
EFEITOS NÃO-NEGLIGENCIÁVEIS

MODOS DE INST.

Modelo	Altura da coluna (mm)	Modo de colapso	P_u (kN)	$P_{u,altura}$
				$P_{u,2400}$
CS	2400	FT	109,99	1,000
	2000	FT	148,36	1,349
	1400	FT	269,55	2,451
	800	D	455,16	4,138
CP	2400	FT	106,47	1,000
	2000	FT	145,90	1,370
	1400	FT	238,46	2,240
	800	D+F	341,31	3,206



AN. COMPARATIVA



CONCLUSÃO

- ❑ Limitações da ANSI/AISI S100:2020;
- ❑ Padrão de perfurações da seção;
- ❑ Modelo não-linear físico que incorpore a rigidez pós-crítica típica de PFFs;
- ❑ Efeitos de segunda ordem advindos de imperfeições geométricas;
- ❑ Estimar a capacidade última, e deslocabilidade da estrutura são tarefas pouco triviais.



CONSTRU METAL 2023

2 1 s e t
8 h - 21 h
allianz parque
são paulo - sp



@congressoconstrumetal
congressoconstrumetal.com.br

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO/PROMOCIÓN

Franca! Feiras DESDE 1969