

**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

# Avaliação numérica de modos de falha da ligação luva em perfis tubulares de seção retangular

Lucas Roquete<sup>1</sup>

Matheus Miranda de Oliveira<sup>2</sup>

Edmundo Pedro Gonçalves Pena<sup>1</sup>

Arlene Maria Cunha Sarmanho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ

<sup>2</sup> Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP

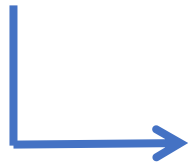
# PERFIS TUBULARES

Vantagens Mecânicas



Excelente Desempenho

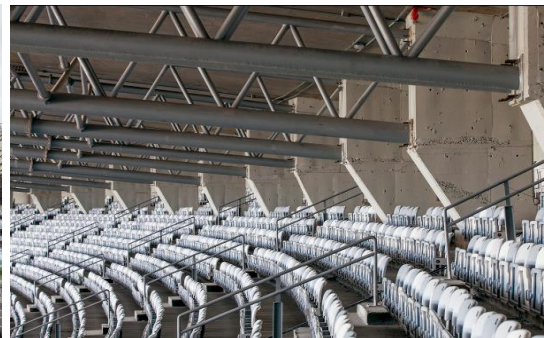
Estrutural



Amplamente empregados em  
sistemas estruturais com **grandes vãos**



Estádio do Mineirão Belo Horizonte

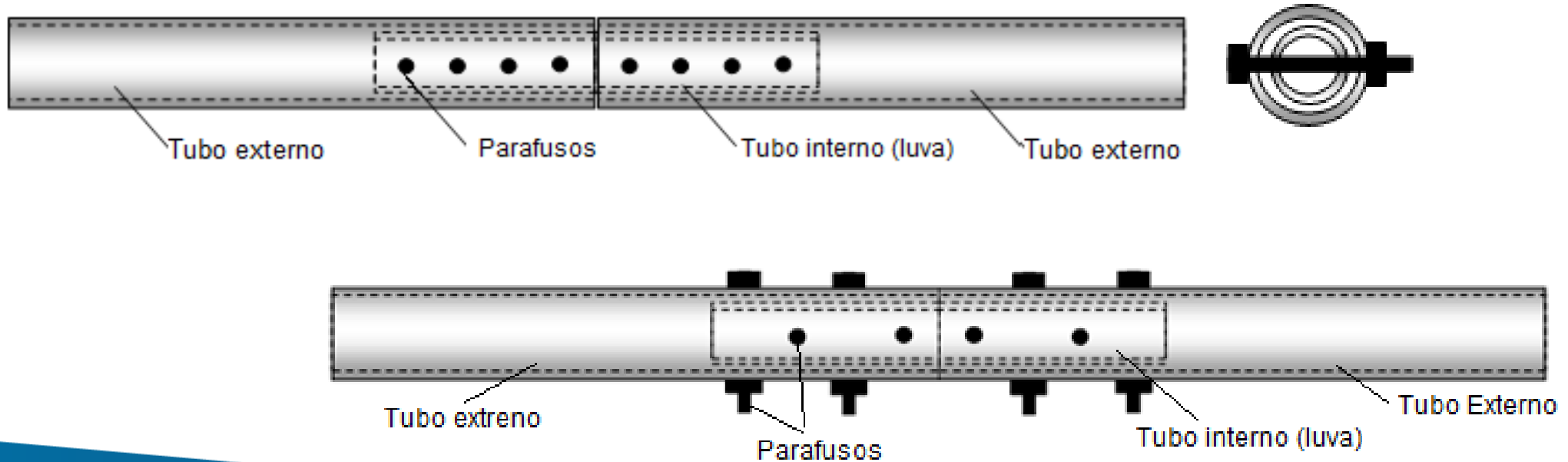


Parque Aquático  
Maria Lenk



## » Ligação tipo luva

- > Otimização na montagem;
- > Tubo contínuo, maior harmonia estética para a estrutura;
- > Outra opção para uso do projetista, além da ligação flangeada.



# » Ligação tipo luva com tubos circulares

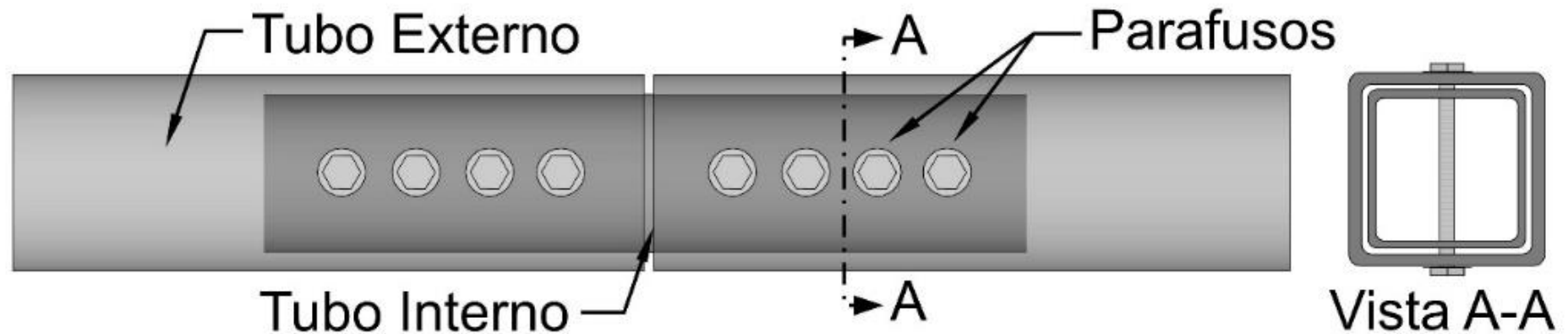
- > Amparo (2014);
- > Amparo et al (2015 a,b);
- > Amparo et al (2016 a,b);
- > Roquete et al (2017 a,b);
- > Oliveira (2019);
- > Oliveira et al (2020);
- > Roquete (2018);
- > Roquete et al (2021);
- > Roquete et al (2022).

$\lambda_{rel} \geq 1,6$	$\lambda_{rel} = \frac{\lambda_{TE}}{\lambda_{TI}}; \lambda_{TE} = \frac{D_{ext}}{t_{ext}}; \lambda_{TI} = \frac{D_{int}}{t_{int}}$
	<b>Modo 1</b> $N_{t,Rd1} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$
	<b>Modo 2</b> $\frac{l_c}{D_{ext}} \leq 3,00$ e $\frac{d_b}{\lambda_{rel}} \leq 12,0$ $N_{t,Rd2} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \begin{cases} A_e = C_t A_n \\ A_n = A_g - 2 d t_{ext} \\ C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c}; e_c = \frac{D}{2} \end{cases}$ para $n < 4$ : $l_c = l_{f1} + (n - 1)l_{f2}$ para $n \geq 4$ : $l_c = l_{f1} + 3l_{f2}$
	<b>Modo 3</b> $F_{v,Rd} = \frac{\alpha A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$ quando o plano de corte na rosca: $\alpha = 0,4$ quando o plano de corte fora da rosca: $\alpha = 0,5$
	<b>Modo 4</b> $F_{c,Rd} = 2n \frac{d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$
	<b>Modo 5</b> $5,75 \leq \frac{D_{ext}}{d_b} \leq 7,68$ Para $n = 3$ ou $4$ $\left\{ F_{b,Rd} = \frac{n f_{y,b} W_b \pi D_{int}}{3 d x} / \gamma_{a1} \right.$ Para $n = 5$ ou $6$ $\left\{ F_{b,Rd} = \frac{n f_{y,b} W_b \pi D_{int}}{3,5 d x} / \gamma_{a1} \right.$ $x = \frac{(D_{ext} - t_{ext}) - (D_{int} - t_{int})}{2}$

$\lambda_{rel} \geq 1,6$	$\lambda_{rel} = \frac{\lambda_{TE}}{\lambda_{TI}}; \lambda_{TE} = \frac{D_{ext}}{t_{ext}}; \lambda_{TI} = \frac{D_{int}}{t_{int}}$
	<b>Modo 1</b> $N_{t,Rd1} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$
	<b>Modo 2</b> $\frac{l_c}{D_{ext}} \leq 3,00$ e $\frac{d_b}{\lambda_{rel}} \leq 12,0$ $N_{t,Rd2} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}}; A_e = C_t A_n$ $C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c}; e_c = \frac{D}{2}$ para $n < 4$ : $l_c = l_{f1} + (n - 1)l_{f2}$ para $n \geq 4$ : $l_c = l_{f1} + 3l_{f2}$ para $l_{f2} = 3d_b$ : $A_n = \text{menor}(A_{n1}; A_{n2})$ para: $l_{f2} > 3d_b$ : $A_n = A_{n1}$ Onde $A_{n1} = A_g - 2 d t_{ext}$ e $A_{n2} = A_g - \left[ 4 \left( \frac{l_{f2}^2}{\pi D_{ext}} \right) \right] t_{ext}$
	<b>Modo 3</b> $F_{v,Rd} = \frac{\alpha A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$ quando o plano de corte na rosca: $\alpha = 0,4$ quando o plano de corte fora da rosca: $\alpha = 0,5$
	<b>Modo 4</b> $F_{c,Rd} = 2n \frac{d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$
	<b>Modo 5</b> $5,75 \leq \frac{D_{ext}}{d_b} \leq 7,68$ $F_{b,Rd} = \frac{n f_{y,b} W_b \pi D_{int}}{3 d x} / \gamma_{a1}$ $x = \frac{(D_{ext} - t_{ext}) - (D_{int} - t_{int})}{2}$

## » Objetivo

Avaliar numericamente a ligação tipo luva para perfis tubulares retangulares de aço por meio de um estudo teórico e numérico.



## » Análise teórica da ligação luva

Possíveis modos de falha: NBR16239:2013; NBR8800:2008; Oliveira et al (2020); Roquete (2018); Roquete et al (2021); Roquete et al (2022).

- *Escoamento da seção bruta (ESB);*
- *Ruptura da seção líquida (RSL);*
- *Esmagamento da parede do furo (ovalização do furo – OF);*
- *Cisalhamento do parafuso (CP);*
- *Flexão nos parafusos (FP).*

## » Análise numérica

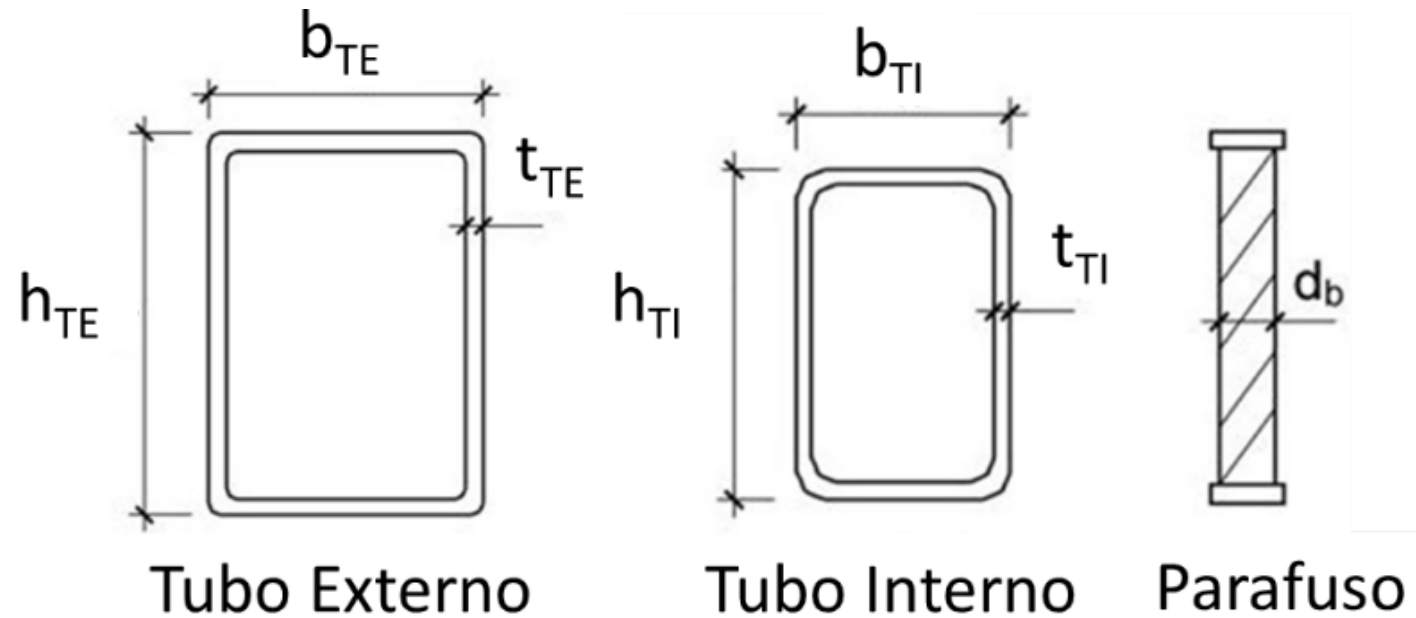
> Dois grupos de tubos retangulares.

1) tubos internos de 90x60 mm e tubos externos de 110x80 mm;

2) tubos internos de 110x80 mm e os tubos externos de 130x100 mm.

A espessura do tubo interno é de 5 mm para todos os modelos.

A espessura do tubo externo varia de 2,5(mm); 3,0(mm); 3,5(mm); 4,0(mm) e 4,5(mm).



## » Análise numérica

ANSYS 12.1:

- ✓ APDL (ANSYS Parametric Design Language);

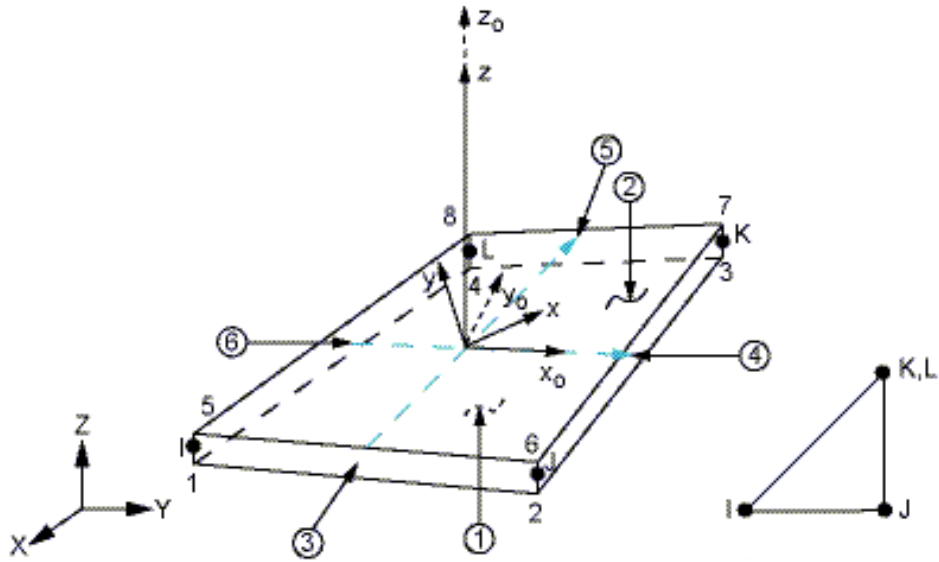
**Elementos tipo Casca**

**Elementos tipo Sólido**

**Elementos de Contato**

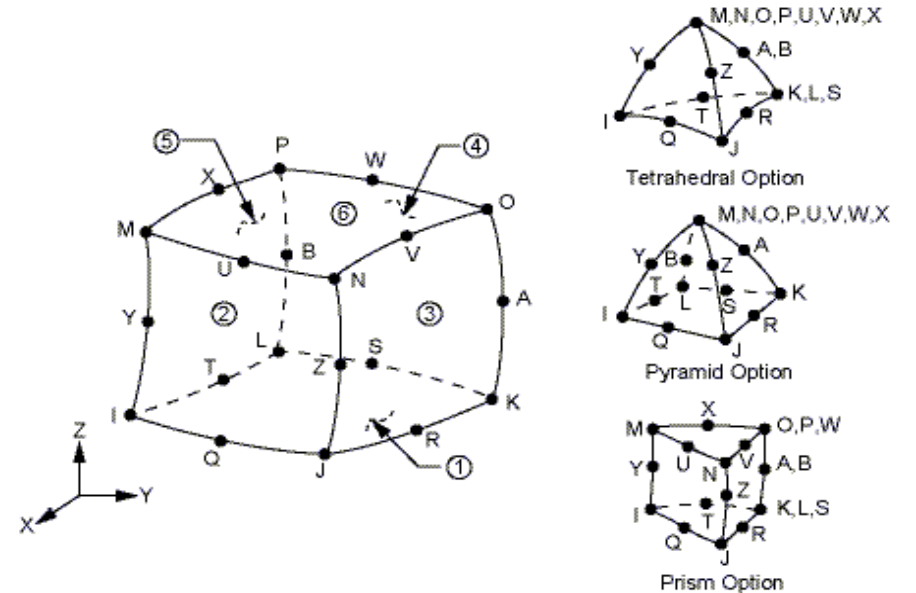
» Análise numérica

Tubos – Elemento de Casca SHELL181



quatro nós;  
seis graus de liberdade;  
malhas irregulares.

Parafusos – Elemento de Sólido SOLID186

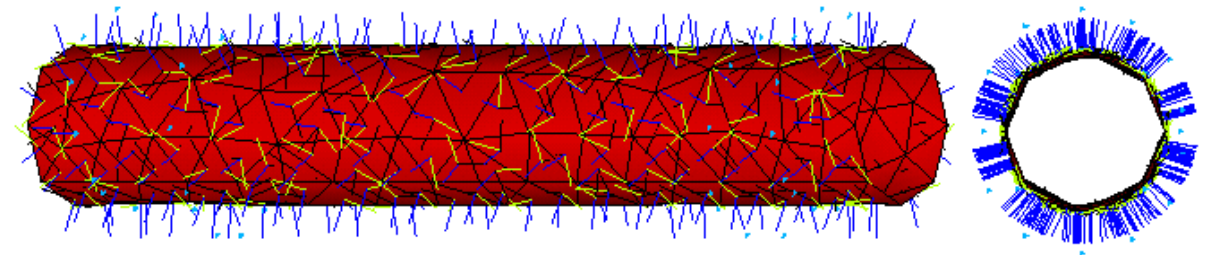
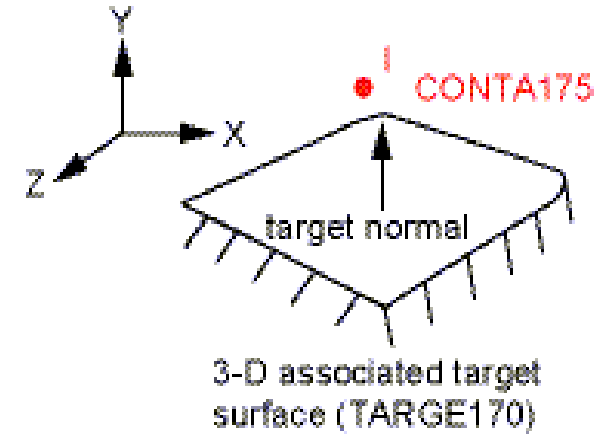
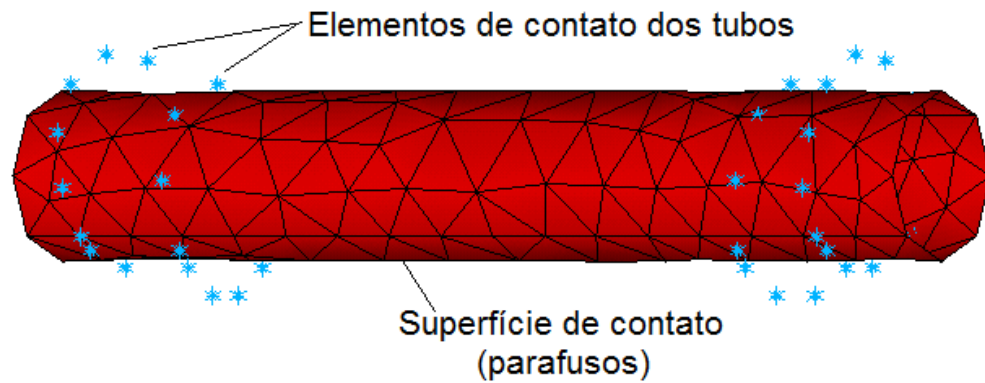


vinte nós;  
três graus de liberdade  
malhas irregulares

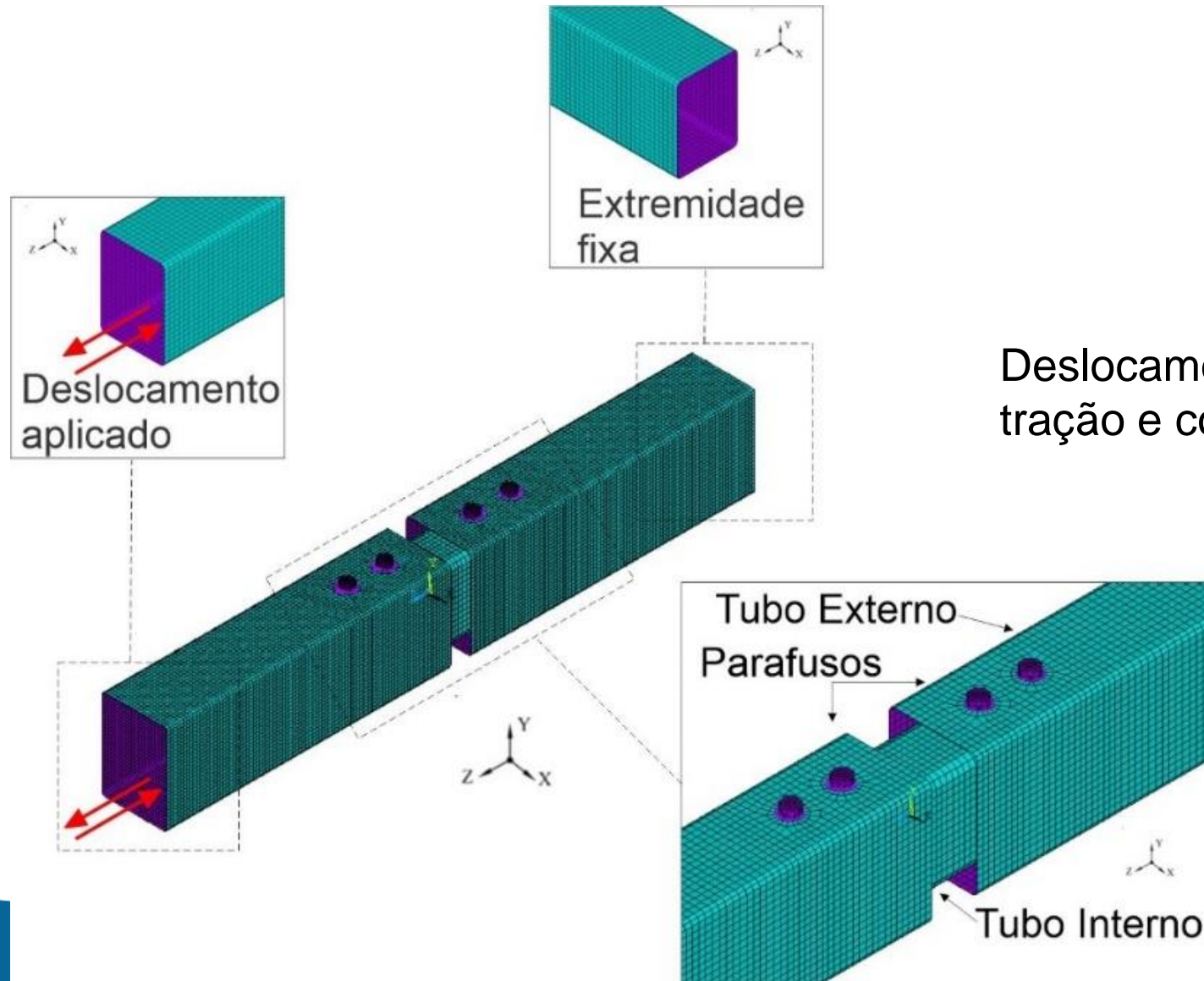
## » Análise numérica

Contato entre o tubo e parafusos – par de contato  
CONTA175 e TARGE170

Uma superfície (TARGE170)  
Pelo menos um nó (CONTA175)



## » Análise numérica



Deslocamento de 15 mm para tração e compressão.

## » Análise numérica

> 62 modelos:

31 modelos à tração;

31 modelos à compressão.

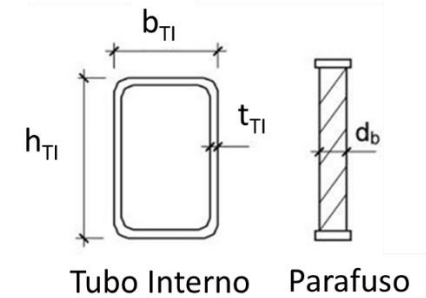
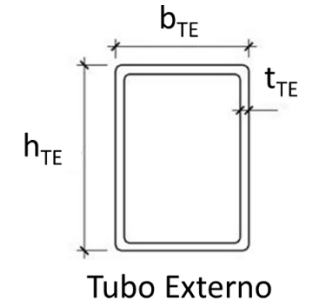
> Tubos de  $f_y = 250\text{MPa}$ ,

$f_u = 360\text{MPa}$ .

> Parafusos de diâmetro 15 mm,

$f_{yb} = 635\text{ MPa}$  e  $f_{ub} = 825\text{ MPa}$ .

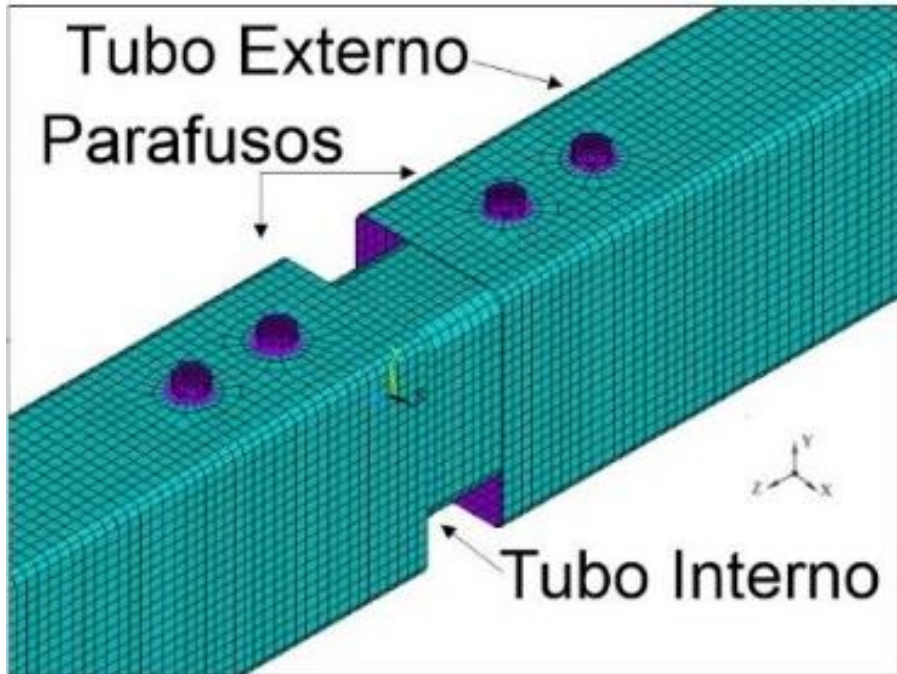
Modelo	Número de parafusos	Tubo externo			Tubo interno	
		Altura $h_{TE}$ (mm)	Largura $b_{TE}$ (mm)	Espessura $t_{TE}$ (mm)	Altura $h_{TI}$ (mm)	Largura $b_{TI}$ (mm)
1	2					
2	3					
3	4			2.5		
4	5					
5	2					
6	3			3		
7	4					
8	5					
9	2					
10	4	110	80	3.5	90	60
11	5					
12	2					
13	3			4		
14	4					
15	5					
16	2					
17	3			4.5		
18	4					
19	5					
20	2					
21	4			2.5		
22	5					
23	2					
24	3			3.5		
25	4	130	100		110	80
26	5					
27	2					
28	3			4		
29	4					
30	5					
31	3			4.5		



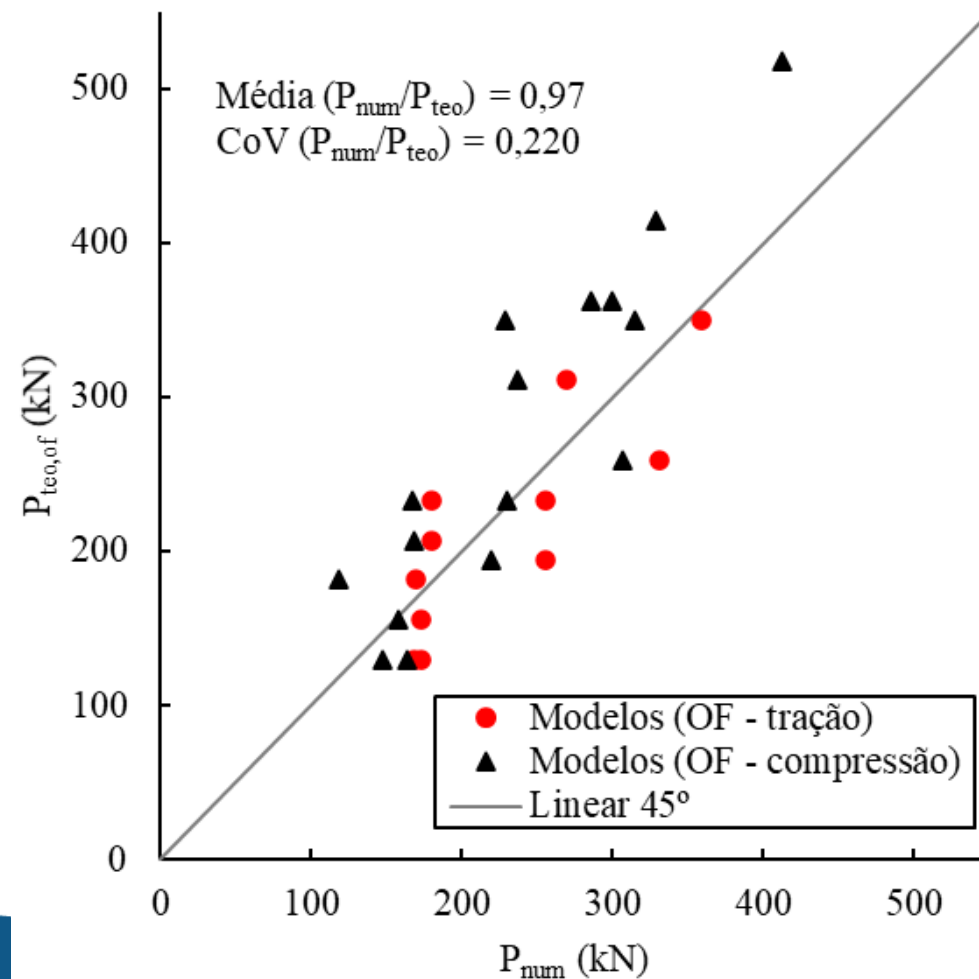
# » RESULTADOS

Modelos	Ligação sob tração					Ligação sob compressão				
	Modo de falha	Local da falha	P <sub>num</sub> (kN)	P <sub>teo</sub> (kN)	P <sub>num</sub> /P <sub>teo</sub>	Modo de falha	Local da falha	P <sub>num</sub> (kN)	P <sub>teo</sub> (kN)	P <sub>num</sub> /P <sub>teo</sub>
1	OF	EXT	172,90	129,60	1,33	OF	EXT	148,08	129,6	1,14
2	OF	EXT	255,33	194,40	1,31	OF	EXT	220,07	194,4	1,13
3	RSL	INT	331,56	414,88	0,80	OF	INT	318,21	518,4	0,61
4	RSL	INT	332,25	414,88	0,80	ESB	INT	354,95	375,00	0,95
5	OF	EXT	172,98	155,52	1,11	OF	EXT	158,23	155,52	1,02
6	OF	EXT	255,44	233,28	1,09	OF	EXT	229,63	233,28	0,98
7	RSL	INT	331,34	414,88	0,80	OF	EXT	236,68	311,04	0,76
8	RSL	INT	332,27	414,88	0,80	ESB	INT	353,39	375,00	0,94
9	OF	EXT	170,00	181,44	0,94	OF	INT	171,61	259,20	0,66
10	RSL	INT	331,65	414,88	0,80	OF	EXT	285,44	362,88	0,79
11	RSL	INT	332,25	414,88	0,80	ESB	INT	353,18	375,00	0,94
12	OF	EXT	180,30	207,36	0,87	OF	EXT	168,70	207,36	0,81
13	OF	EXT	269,09	311,04	0,87	OF	INT	246,19	388,80	0,63
14	RSL	INT	331,72	414,88	0,80	ESB	INT	316,26	375,00	0,84
15	RSL	INT	332,25	414,88	0,80	ESB	INT	294,12	375,00	0,78
16	OF	EXT	179,74	233,28	0,77	OF	EXT	166,87	233,28	0,72
17	OF	EXT	359,24	349,92	1,03	OF	EXT	228,49	349,92	0,65
18	RSL	INT	331,73	414,88	0,80	ESB	INT	285,43	375,00	0,76
19	RSL	INT	332,26	414,88	0,80	ESB	INT	290,94	375,00	0,78
20	OF	EXT	168,26	129,60	1,30	OF	EXT	163,60	129,60	1,26
21	OF	EXT	331,14	259,20	1,28	OF	EXT	307,13	259,20	1,18
22	RSL	INT	411,16	512,21	0,80	ESB	INT	381,46	475,00	0,80
23	OF	INT	170,93	259,20	0,66	OF	EXT	118,18	181,44	0,65
24	RSL	INT	255,08	473,46	0,54	OF	INT	247,97	388,80	0,64
25	RSL	INT	334,07	512,21	0,65	OF	EXT	299,78	362,88	0,83
26	RSL	INT	439,40	512,21	0,86	OF	INT	386,46	648,00	0,60
27	OF	INT	162,73	259,20	0,63	OF	INT	165,77	259,20	0,64
28	OF	INT	247,32	388,80	0,64	OF	INT	247,32	388,80	0,64
29	RSL	INT	338,54	512,21	0,66	OF	EXT	328,75	414,72	0,79
30	RSL	INT	411,53	512,21	0,80	OF	EXT	412,02	518,40	0,79
31	OF	INT	337,79	388,80	0,87	OF	EXT	315,30	349,92	0,90
<b>Média</b>					0,87					0,83
<b>CoV</b>					0,241					0,218

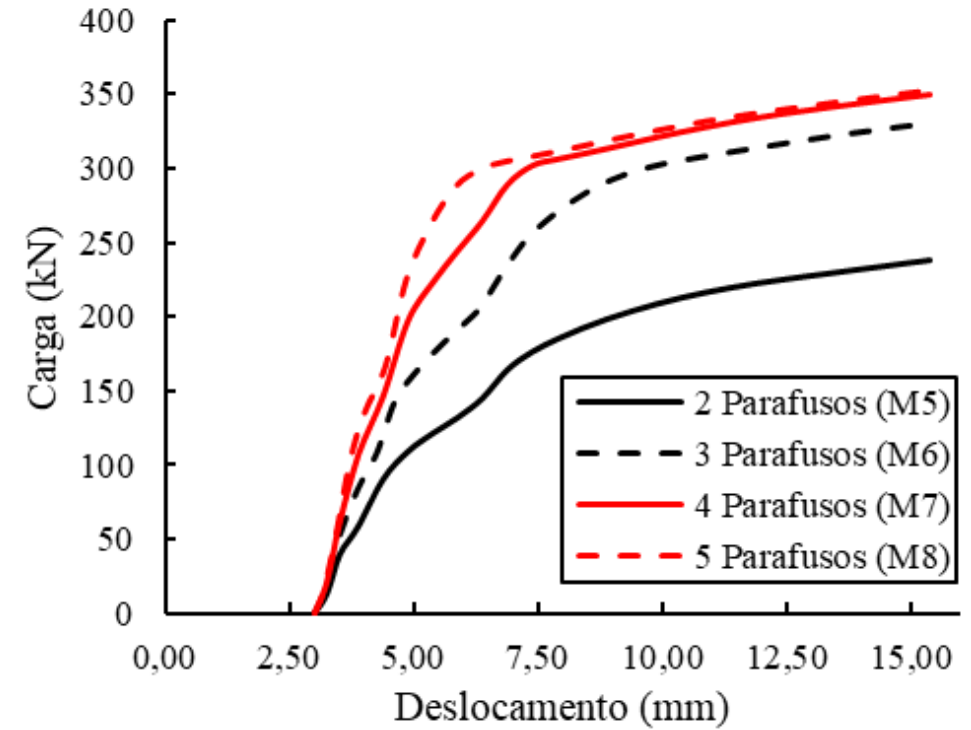
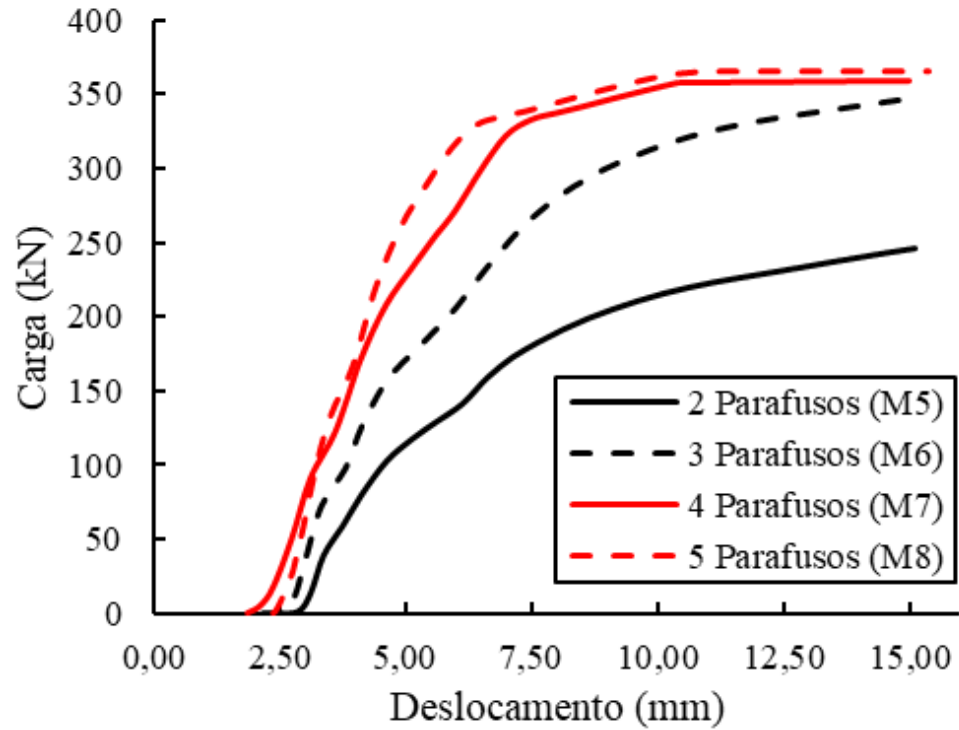
## » RESULTADOS



- > Ideal que a falha não seja dominante no TI.
- > Modelos com falha no TE

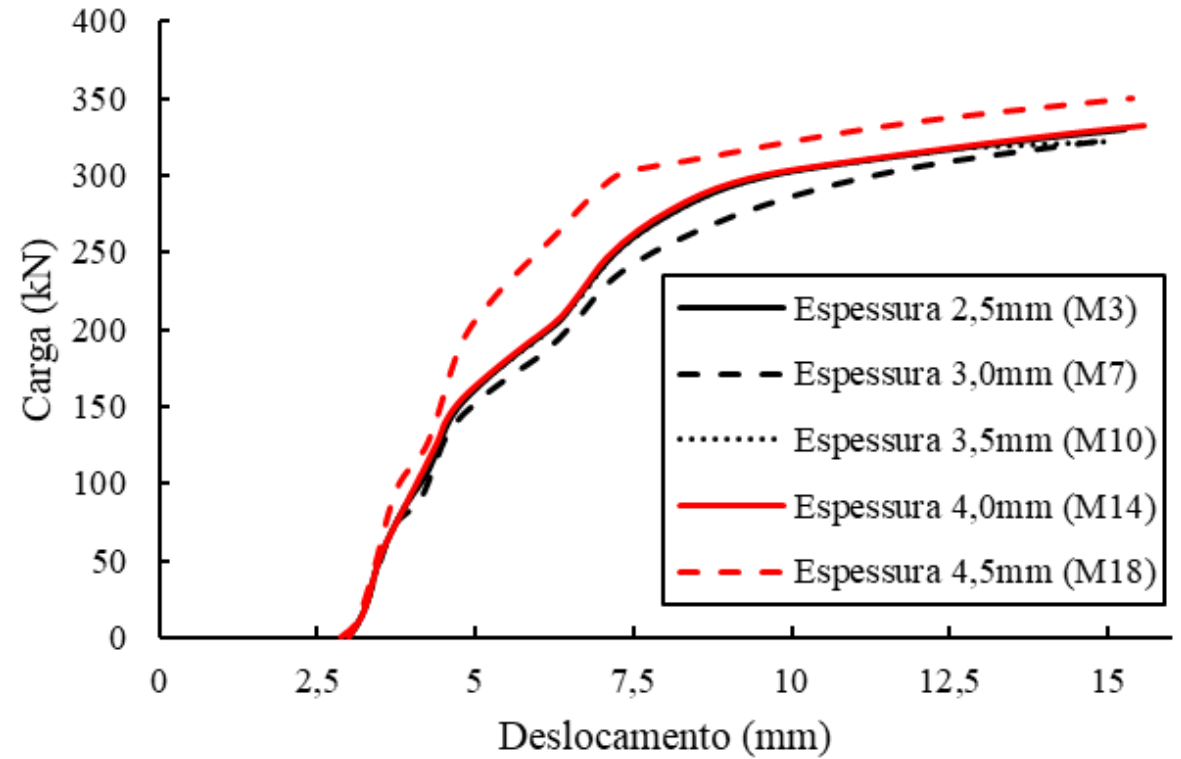
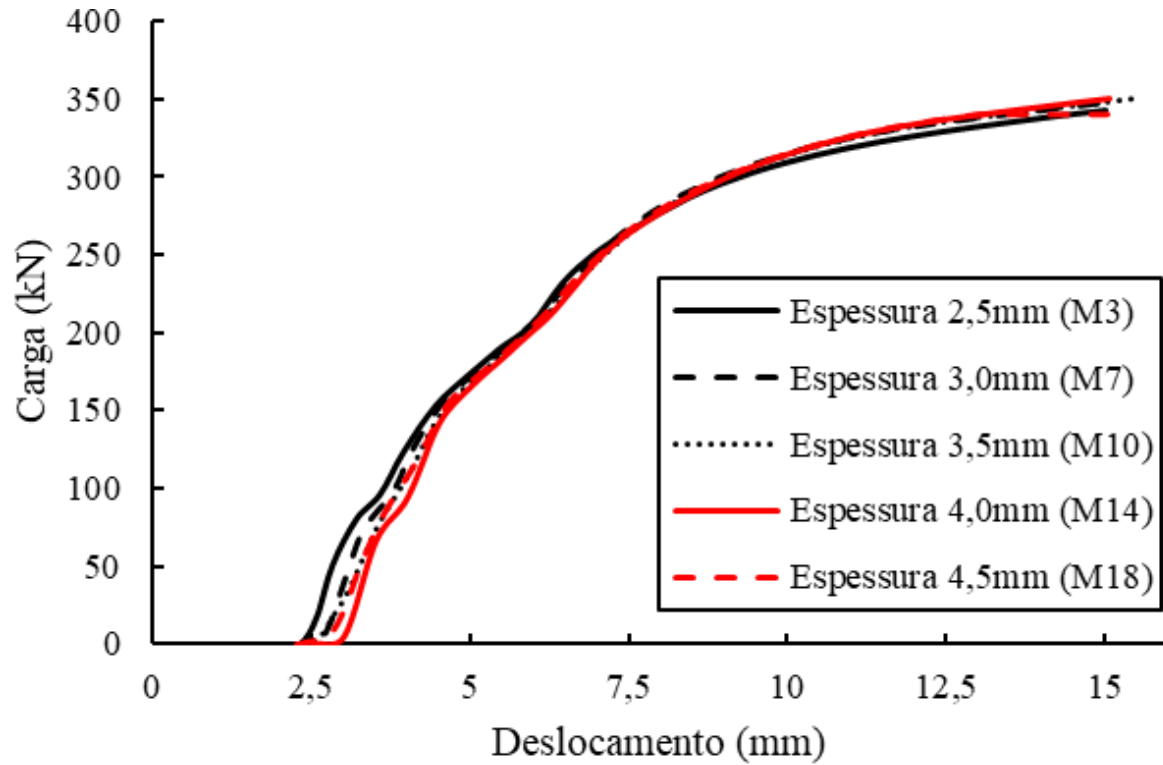


## » RESULTADOS



**Influência do Número de Parafuso: (a) Compressão; (b) Tração**

## » RESULTADOS



**Influência da Espessura do Tubo Externo: (a) Compressão; (b) Tração**

## » Considerações finais

- Em modelos à compressão, a ovalização dos furos foi a falha mais comum, seguida pelo escoamento da seção bruta;
- Em modelos à tração, a ovalização dos furos ocorreu em menos modelos do que a ruptura da seção líquida;
- As falhas por ovalização dos furos ocorreram tanto nos tubos externos quanto nos tubos internos da ligação;
- As falhas por ruptura da seção líquida e escoamento da seção bruta se limitaram aos tubos internos;

## » Considerações finais

- Notou-se que as formulações apresentadas anteriormente são capazes de representar o comportamento da ligação;
- Considerando apenas as falhas nos tubos externos, conforme recomendado por Oliveira et al. (2020) e Roquete et al. (2021), obteve-se uma relação média de 0,97;
- O alto valor do coeficiente de variação pode ser atribuído à ausência de dados experimentais disponíveis para calibração do modelo numérico.

lucasroquete@ufsj.edu.br

# 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