

**CONSTRU  
METAL**  
2023

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

# CONTRIBUIÇÕES TECNOCIENTÍFICAS

REALIZAÇÃO



**ABCEM**  
Associação Brasileira de  
Construção Metálica

ORGANIZAÇÃO/PROMOÇÃO

**Francal Feiras** DESDE 1969

# DIMENSIONAMENTO ÓTIMO DE PILARES DE AÇO E MISTOS DE AÇO E CONCRETO UTILIZANDO TUBOS COM COSTURA



**Clara Garcia Sanders** <sup>1</sup>  
Estudante de Engenharia  
de Civil



**Lucas Fadini  
Favarato** <sup>2</sup>  
Petrobrás



**André Vasconcelos  
Soares Gomes** <sup>3</sup>  
Arcelor Mittal



**Adenilcia Fernanda  
Calenzani** <sup>4</sup>  
Departamento de  
Engenharia de Civil

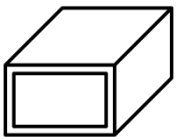
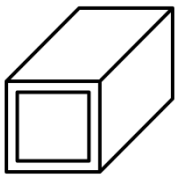


# CONTEXTUALIZAÇÃO

- A construção civil é essencialmente pautada em elementos cimentícios e cerâmicos;
- Em 2015, a massa total de cimento produzida foi de 4,6 bilhões de toneladas. Isso equivale a cerca de 626 kg/per capita, um valor superior à quantidade de consumo alimentar humano (GARTNER, 2018);
- Os elementos convencionais possuem elevado peso próprio e intensificam diversos impactos ambientais;
- Buscar alternativas que permitam à construção civil otimizar o uso de recursos no tocante aos aspectos ambiental, social e econômico.



# CONTEXTUALIZAÇÃO



- Perfis tubulares com costura como pilares, seja com ou sem preenchimento de concreto;
- Vantagens uso do perfil tubular: Grandes versatilidades arquitetônicas, soluções mais econômicas, eliminação da necessidade de reforços extras e formas, redução do peso da estrutura, diminuição do tempo de construção e garantia de grande resistência à flexão, torção e flambagem (CANALES, 2014);
- Vantagens do uso do perfil tubular COM costura: Existe uma gama de fabricantes, oferta de bitolas e espessuras, menores preço, tolerâncias mais estreitas, maior flexibilidade quanto à resistência mecânica do aço, melhor acabamento superficial tanto na parte interna como externa.

# OBJETIVOS



Desenvolver uma ferramenta computacional no Excel para automatizar o dimensionamento de pilares de aço de seção tubular com costura e de pilares mistos, com base nas normas nacionais aplicáveis;



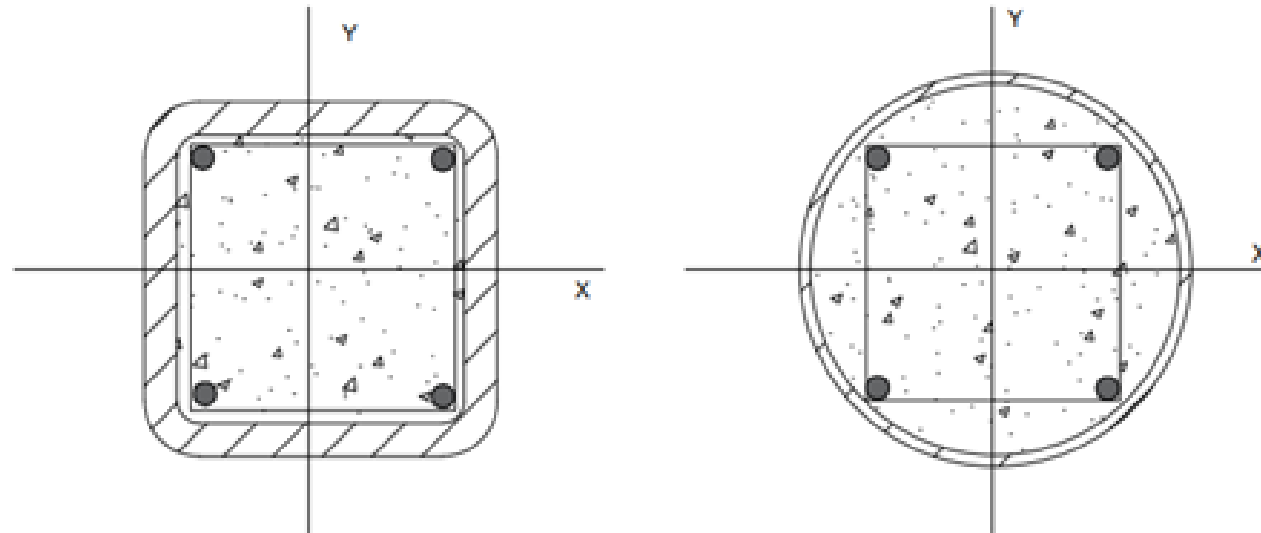
Otimizar as soluções, reduzindo custos e peso por meio do algoritmo evolucionário do SOLVER, que, considerando as restrições impostas pela norma, trabalha para potencializar o desempenho dos elementos estruturais.

# FERRAMENTA COMPUTACIONAL

- Escopo: Pilares com perfis tubulares de seção circular e retangular mistos preenchidos de concreto ou não.
- Normas base para o dimensionamento dos pilares de aço: NBR 16239 (ABNT, 2013), NBR 8800 (ABNT, 2008) e NBR 8162 (ABNT, 2019).
- Normas base para o dimensionamento dos pilares mistos de aço e concreto: NBR 16239 (ABNT, 2013) e NBR 8800 (ABNT, 2022) e NBR 8162 (ABNT, 2019).
- Considerações feitas:
  - Pilares bi rotulados, ou seja, com coeficientes de flambagem por flexão iguais a 1;
  - Perfis de seção compacta (catálogo da Tuper (2019));

# FERRAMENTA COMPUTACIONAL

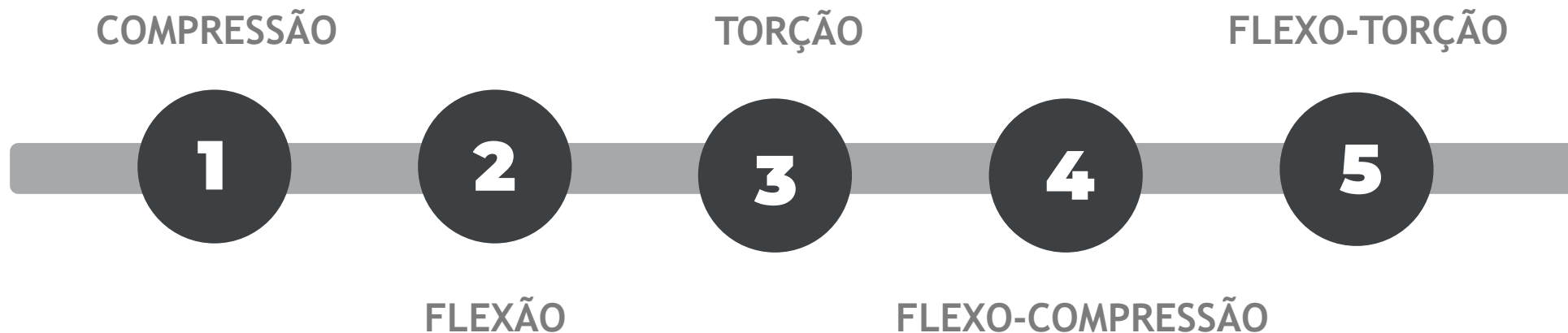
- A disposição das barras longitudinais para os pilares mistos preenchidos foi considerada da seguinte forma:



Fonte: próprios autores

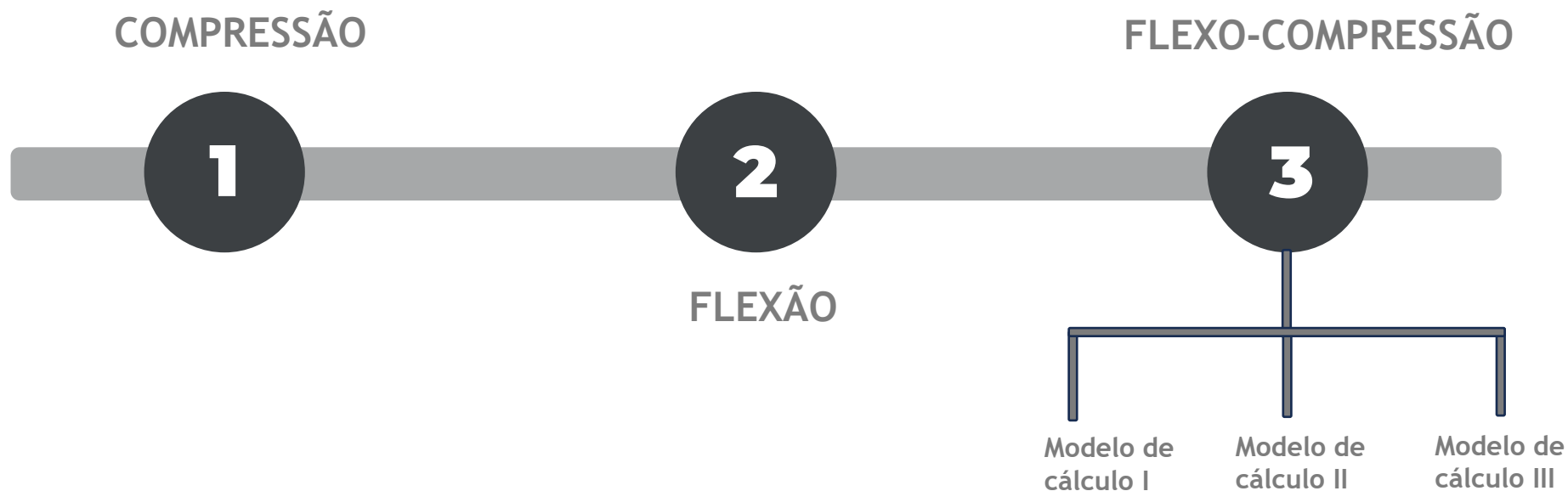
# FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Dimensionamento dos pilares de aço quanto à:



# FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Dimensionamento dos pilares preenchidos quanto à:



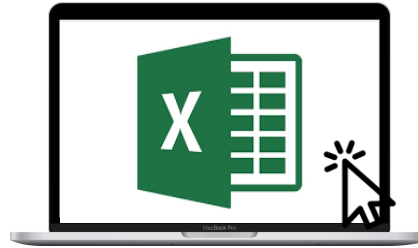
# FERRAMENTA COMPUTACIONAL

	A	B	C	D	E
1	DIMENSIONAMENTO DE TUBOS CIRCULARES COM COSTURA À FLEXÃO/ COMPRESSÃO/ TORÇÃO				
2					
3	ABNT NBR 8800:2008   ABNT NBR 16239:2013				
4	Esforços	Flexo-compressão			
5					
6	DADOS DE ENTRADA				
7	VARIÁVEL	VALOR	UNIDADE	DESCRIÇÃO	
8	D	355,0	mm	Diâmetro externo do tubo	
9	t	10,0	mm	Espessura da parede	
10	$f_y$	300,0	MPa	Tensão de escoamento	
11	$\gamma_s$	1,1	--	Coefficiente de minoração da resistência	
12	L	800,0	cm	Comprimento do tubo	
13	K	1,0	--	Coefficiente de flambagem	
14	$N_{sd}$	0,0	kN	Força de compressão solicitante de cálculo	
15	$M_{sd,x}$	100,0	kN.m	Momento fletor solicitante de cálculo - eixo x	
16	$M_{sd,y}$	0,0	kN.m	Momento fletor solicitante de cálculo - eixo y	
17	$M_{sd}$	100,0	kN.m	Momento fletor solicitante de cálculo	
18	$T_{sd}$	240,0	kN.m	Momento de torção solicitante de cálculo	
19	$E_s$	200000,0	MPa	Módulo de elasticidade do aço do tubo	

Pilar tubular circular
  Pilar tubular retangular
  Pilar tubular circular misto
  Pilar tubular retangular misto

Fonte: próprios autores

# OTIMIZAÇÃO

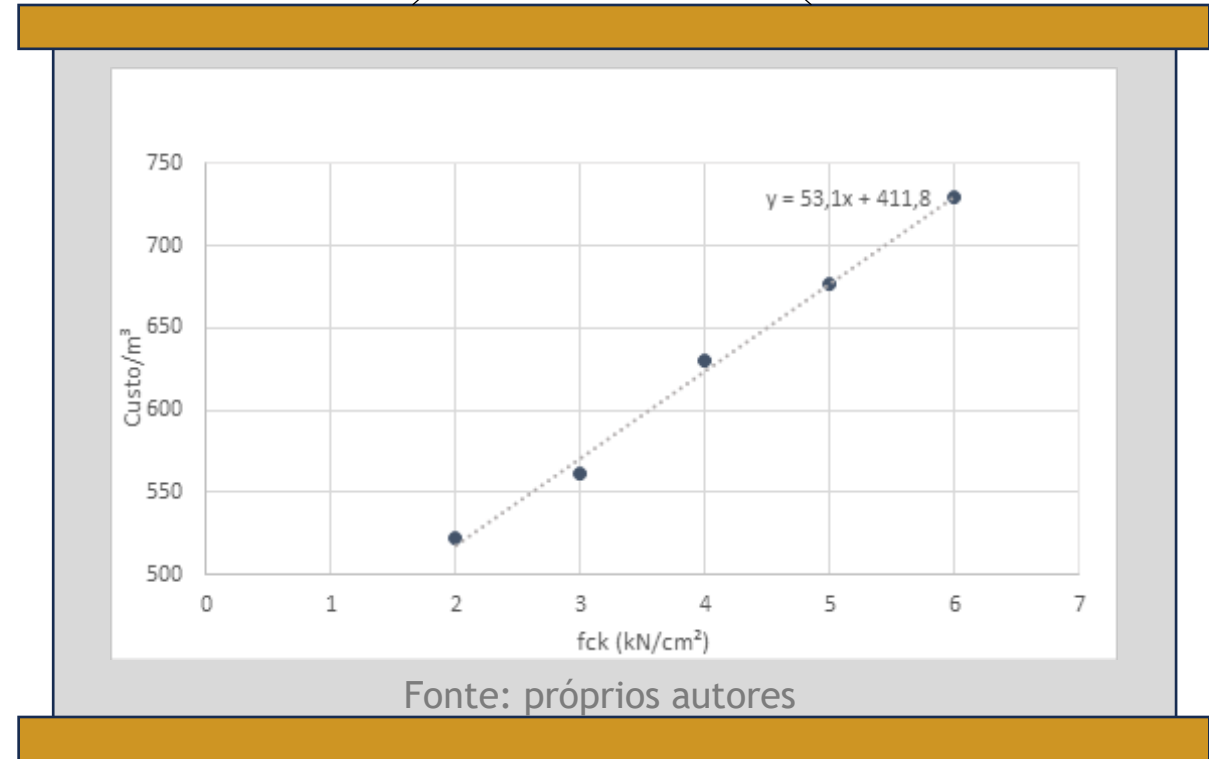


# OTIMIZAÇÃO



# OTIMIZAÇÃO

- Minimização do preço atribuído ao concreto:
- O custo do aço será minimizado por meio da variação das dimensões da seção.



# OTIMIZAÇÃO

- Restrições impostas pela NBR 16239 (ABNT, 2013), NBR 8800 (ABNT, 2008) e NBR 8162(ABNT, 2019): Pilares de aço

RESTRITÕES – SEÇÃO CIRCULAR			
VARIÁVEL	CONDIÇÃO	LIMITE	UNIDADE
$D$	$\geq$	15,9	mm
$D$	$\leq$	339,7	mm
$t$	$\geq$	4,8	mm
$t$	$\leq$	16,0	mm
$t/D$	$\leq$	10%	--
$KL/r$	$\leq$	200,0	--
$D/t$	$\leq$	300,0	--
$N_{Sd}/N_{Rd}$	$\leq$	1,0	--
$M_{Sd}/M_{Rd}$	$\leq$	1,0	--
$T_{Sd}/T_{Rd}$	$\leq$	1,0	--

RESTRITÕES – SEÇÃO RETANGULAR			
VARIÁVEL	CONDIÇÃO	LIMITE	UNIDADE
$b$	$\leq$	250,0	mm
$h$	$\leq$	350,0	mm
$t$	$\leq$	37,5	mm
$t$	$\geq$	4,8	mm
$\lambda_{\text{máx}}$	$\leq$	200,0	--
$\lambda$	$\leq$	33,5	--
$N_{Sd}/N_{Rd}$	$\leq$	1,0	--
$M_{Sd}/M_{Rd}$	$\leq$	1,0	--

Fonte: próprios autores

# OTIMIZAÇÃO

- Restrições impostas pela NBR 16239 (ABNT, 2013), NBR 8800 (ABNT, 2022) e NBR 8162 (ABNT, 2019): Pilar de aço preenchido com concreto.

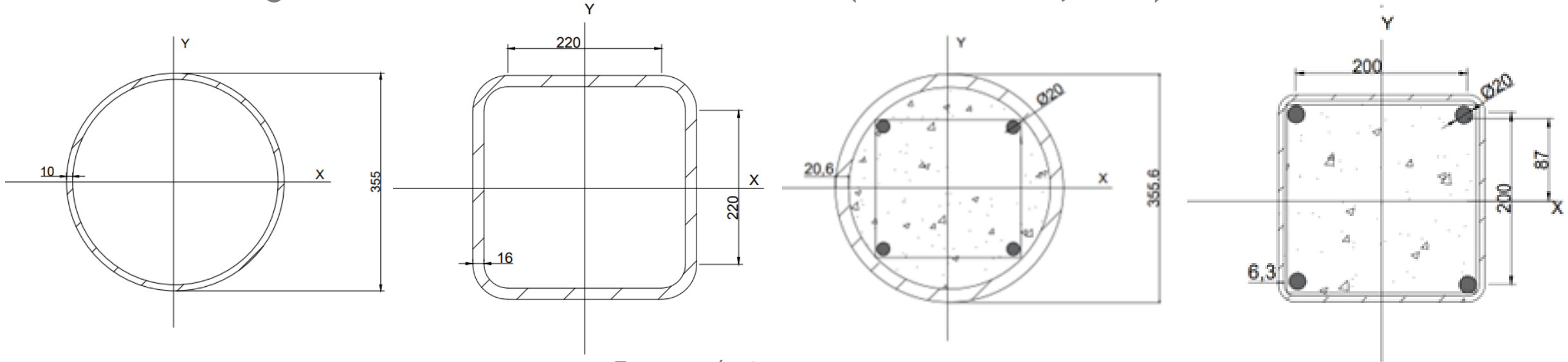
RESTRIÇÕES – SEÇÃO CIRCULAR			
VARIÁVEL	CONDIÇÃO	LIMITE	UNIDADE
$\delta$	$\leq$	0,90	--
$\delta$	$\geq$	0,20	--
Aa	$\geq$	8,75	cm <sup>2</sup>
f <sub>y</sub>	$\geq$	35,00	kN/cm <sup>2</sup>
f <sub>y</sub>	$\leq$	45,00	kN/cm <sup>2</sup>
f <sub>ck</sub>	$\geq$	2,00	kN/cm <sup>2</sup>
f <sub>ck</sub>	$\leq$	5,00	kN/cm <sup>2</sup>
$N_{sd}/N_{Rd}$	$\leq$	1,00	--
Esforços combinados	$\leq$	1,00	--
D ext	$\geq$	15,9	mm
D ext	$\leq$	339,7	mm
t	$\geq$	4,8	mm
t	$\leq$	16,0	mm

RESTRIÇÕES – SEÇÃO RETANGULAR			
VARIÁVEL	CONDIÇÃO	LIMITE	UNIDADE
$\delta$	$\leq$	0,9	--
$\delta$	$\geq$	0,2	--
Aa	$\geq$	4,2	cm <sup>2</sup>
b <sub>1</sub> /b <sub>2</sub>	$\leq$	5,0	--
b <sub>1</sub> /b <sub>2</sub>	$\geq$	0,2	--
F <sub>ck</sub>	$\geq$	2,0	kN/cm <sup>2</sup>
F <sub>ck</sub>	$\leq$	5,0	kN/cm <sup>2</sup>
F <sub>y</sub>	$\geq$	35,0	kN/cm <sup>2</sup>
F <sub>y</sub>	$\leq$	45,0	kN/cm <sup>2</sup>
N <sub>sd</sub> /N <sub>rd</sub>	$\leq$	1	--
Esforços combinados	$\leq$	1	--
b <sub>1</sub>	$\leq$	300,0	mm
b <sub>2</sub>	$\leq$	500,0	mm
t	$\leq$	37,5	mm
t	$\geq$	4,8	mm

Fonte: próprios autores

# RESULTADOS

- A validação foi feita por meio de exemplos numéricos resolvidos manualmente. Assim os resultados foram confrontados com os resultados obtidos pela ferramenta computacional. Os exercícios foram retirados do livro Projeto, Fabricação e Montagem de Estruturas com Perfis Tubulares (ARAÚJO et. al, 2016).



Fonte: próprios autores

# RESULTADOS

0,88%

Diferença média  
entre o programa  
e os exemplos de  
validação (em  
módulo).

# RESULTADOS

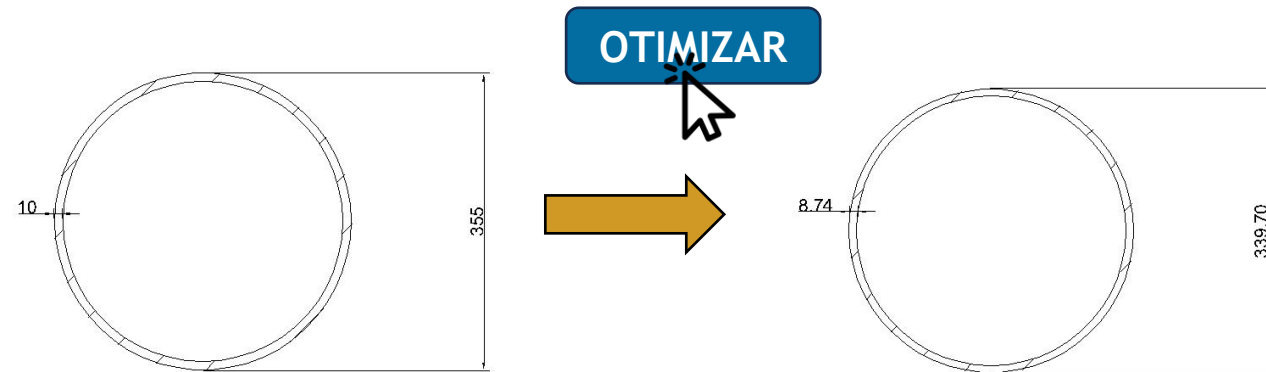
- Pilar tubular de aço:

Seção circular

ELEMENTO	ORIGINAL	OTIMIZADO	UNIDADE
Diâmetro	355,00	339,70	mm
Espessura	10,00	8,74	mm
Área da seção	108,38	90,91	cm <sup>2</sup>
Custo	672,12	563,78	R\$/m
Aproveitamento	0,308	0,383	--

Fonte: próprios autores

A redução do custo foi de 16%



Dimensões em milímetros  
Fonte: próprios autores

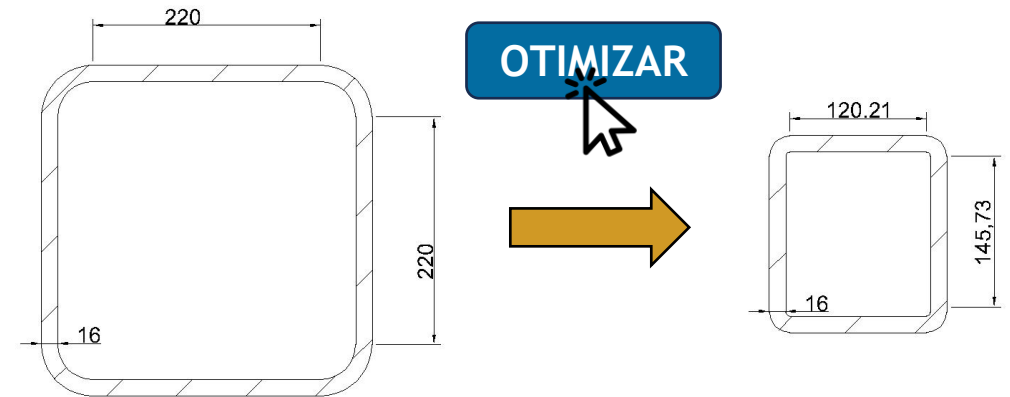
# RESULTADOS

## Seção retangular

ELEMENTO	ORIGINAL	OTIMIZADO	UNIDADE
Altura	220,00	145,73	mm
Largura	220,00	120,21	mm
Espessura	16,00	16,00	mm
Área da seção	119,58	63,88	cm <sup>2</sup>
Custo	741,58	396,15	R\$/m
Aproveitamento	0,295	1,000	--

Fonte: próprios autores

A redução do custo foi de aproximadamente 47%.



Dimensões em milímetros  
Fonte: próprios autores

# RESULTADOS

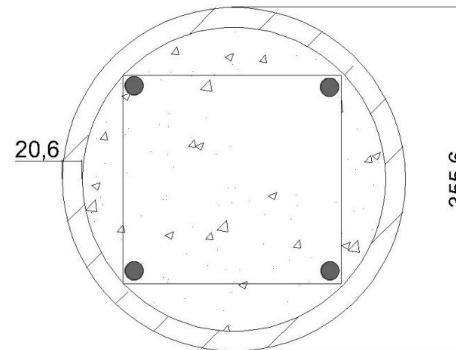
- Pilar tubular de aço preenchido com concreto:

Seção circular

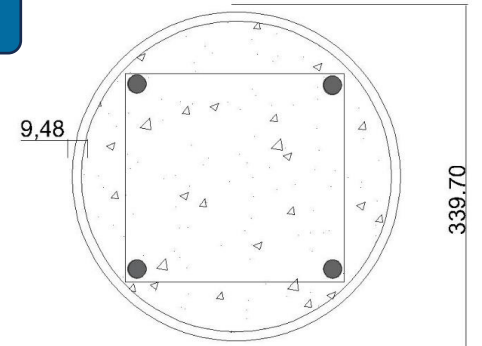
ELEMENTO	ORIGINAL	OTIMIZADO	UNIDADE
Diâmetro	355,60	339,70	mm
Espessura	20,60	9,48	mm
Área de aço	216,80	98,35	cm <sup>2</sup>
fck	4,00	5,00	kN/cm <sup>2</sup>
Custo	1392,17	661,68	R\$/m
Aproveitamento	0,648	1,000	--

Fonte: próprios autores

A redução do custo foi de aproximadamente 53%.



OTIMIZAR



Dimensões em milímetros  
Fonte: próprios autores

# RESULTADOS

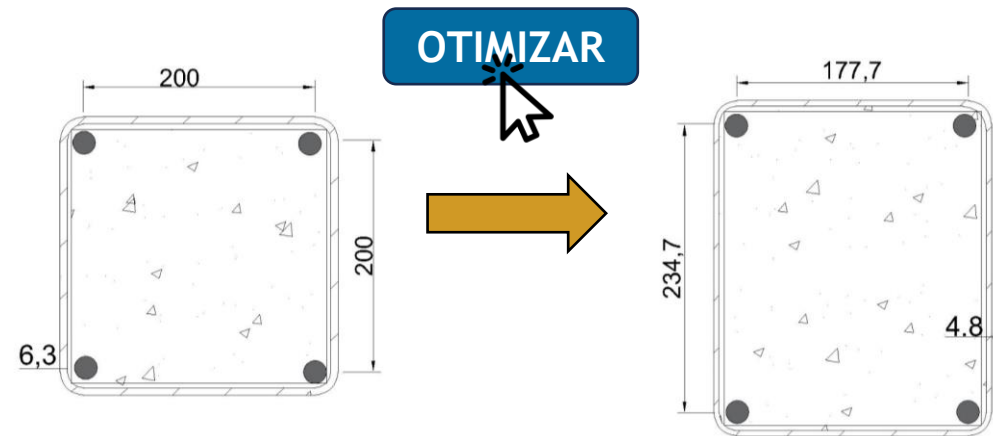
- Pilar tubular de aço preenchido com concreto:

Seção retangular

ELEMENTO	ORIGINAL	OTIMIZADO	UNIDADE
Altura	200,00	234,7	mm
Largura	200,00	177,7	mm
Espessura	6,30	4,8	mm
Área de aço	47,79	37,69	cm <sup>2</sup>
fck	4,00	5,00	kN/cm <sup>2</sup>
Custo	317,51	258,53	R\$/m
Aproveitamento	0,985	1,000	--

Fonte: próprios autores

A redução do custo foi de aproximadamente 19%.



Dimensões em milímetros  
Fonte: próprios autores

# CONCLUSÃO

DIVERSAS VANTAGENS  
ATRELADAS AO USO  
DE PERFIS TUBULARES  
COM COSTURA.

DESVIO DE 0,88%  
NOS EXEMPLOS DE  
VALIDAÇÃO

VERIFICAÇÃO DA  
FLEXO-COMPRESSÃO  
POR MEIO DOS 3  
MODELOS DE CÁLCULO  
DISPOSTOS EM NORMA.

REDUÇÃO EM 32% OS  
CUSTOS DOS PILARES  
DE AÇO E 36% OS  
CUSTOS DOS PILARES  
MISTOS

# REFERÊNCIAS

- ABNT, NBR 8261: Tubos de aço-carbono, com e sem solda, de seção circular, quadrada ou retangular para usos estruturais – Requisitos. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas técnicas, 2019.
- ABNT, NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas técnicas, 2008.
- ABNT, NBR 8800 (Projeto de revisão): Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas técnicas, 2022.
- ABNT NBR 16239: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas técnicas, 2013.

# REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, C. J. R. V. Estudo Experimental do Efeito do Fogo em Pilares Mistos Curtos de Aço e Concreto. Dissertação de Mestrado. UNICAMP, 2008.
- ARAÚJO, A. H. M., REQUENA, J. A. V., MINCHILLO, D. G. V., THOMAZ, S. A. M. Projeto, Fabricação e Montagem de Estruturas com Perfis Tubulares. I Congresso Internacional da Construção Metálica - I CICOM. São Paulo, 2016.
- BRANCO, R. H. F. Automação de Projetos de Estruturas Planas Treliçadas Tubulares de Aço com Estudo Comparativo entre Treliças Constituídas por Barras com Ligações Rotuladas e Rígidas. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, 2006.
- CANALES, Ana Flávia. Estudo do dimensionamento de pilares de aço tubulares e pilares mistos de perfis tubulares preenchidos com concreto de acordo com a ABNT NBR 16239: 2013. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

# REFERÊNCIAS

- COSTA, R. M. X. O Uso de Perfis Tubulares Metálicos em Estruturas de Edifícios e Sua Interface com o Sistema de Fechamento Vertical Externo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2004.
- MEYER, Karl Fritz. Estruturas metálicas: construções com tubos. KM Engenharia. Belo Horizonte, 2002.
- SAMARRA, F. A. Estudo Numérico-Experimental de Trelças Tubulares Planas para Coberturas Padronizadas para Grandes Vãos. Dissertação de Mestrado. UNICAMP, 2007.
- TUPER. Tabela técnica de produtos. São Bento do Sul - SC, 2019.

# AGRADECIMENTOS



# 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