

Dimensionamento de Perfis Formados a Frio

Aula 01

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Perfis Formados a frio:

Coberto pela Norma NBR14.762/10

Chapas de pequenas espessuras



Chapas maleáveis

Susceptíveis a torções e empenamentos

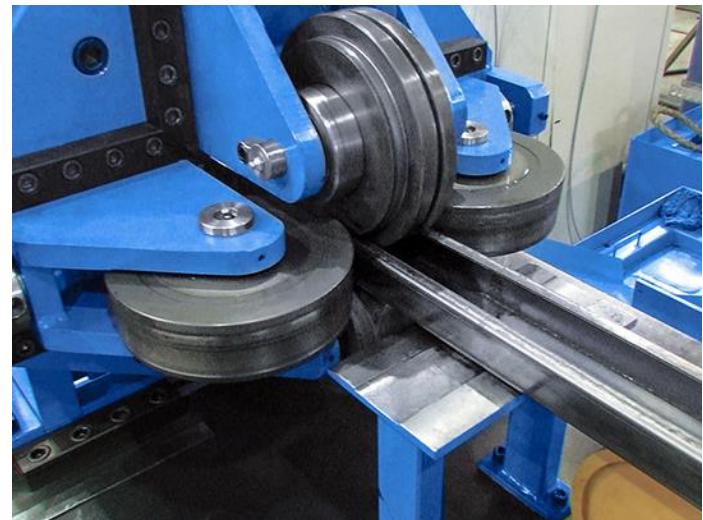
Método de cálculo tem algumas diferenças em
ao abordado pela NBR8800/08

Light Steel Framing



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Processos de Fabricação: Processo contínuo



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Processos de Fabricação: Processo descontínuo



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Tipos de aço:

Relação Fu/Fy deve ser maior que 1,08

Alongamento após ruptura não deve ser menor que 10% para um corpo de prova de 50mm ou 7% para um corpo de prova de 200mm

Fy mínimo = 18kN/cm²

Fu mínimo = 30 kN/cm²

Especificação	Grau	f _y (MPa)	f _u (MPa)
ABNT NBR 6649 /	CF-24	240	400
ABNT NBR 6650	CF-26	260/260	400/410
Chapas finas (a frio/a quente) de aço-carbono	CF-28	280/280	440/440
	CF-30	--/300	--/490
	F-32/Q-32	310	410
ABNT NBR 5004	F-35/Q-35	340	450
Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica	Q-40	380	480
	Q-42	410	520
	Q-45	450	550
ABNT NBR 5920 /	CFR 400	--/250	--/380
ABNT NBR 5921	CFR 500	310/370	450/490
Chapas finas e bobinas finas (a frio/a quente), de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica			
	ZAR 250	250	360
ABNT NBR 7008 /	ZAR 280	280	380
ABNT NBR 7013 /	ZAR 320	320	390
ABNT NBR 14964	ZAR 345	345	430
Chapas finas e bobinas finas com revestimento metálico	ZAR 400	400	450

Efeitos do dobramento:

A região da dobra tem a seção transversal alterada, mas esses efeitos podem ser desprezados

Na região da dobra ocorre o fenômeno do **envelhecimento**, isto é – o material atinge a zona plástica, sofre descarregamento e depois carregamento novamente.

Com isso as propriedades F_y e F_u são aumentadas na região da dobra, mas a ductilidade é reduzida (por isso o dobramento deve ter raio de curvatura adequado)

Tipos de Perfis:

Cantoneira



U Simples



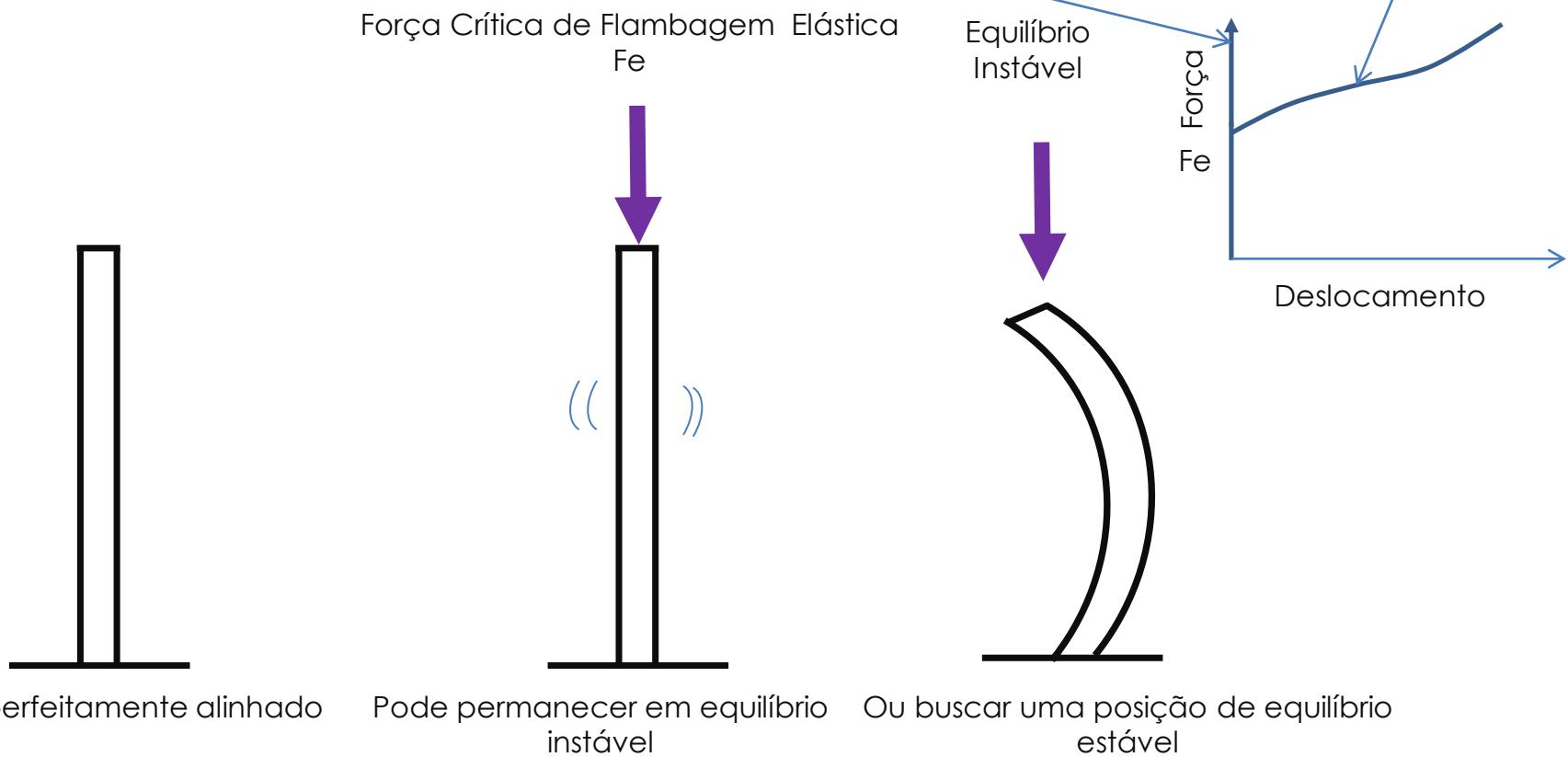
U Enrijecido



Z dobrado (enrijecimento a 45° ou a 90°)



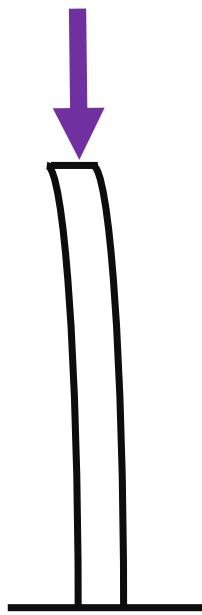
Definindo Instabilidade e Flambagem



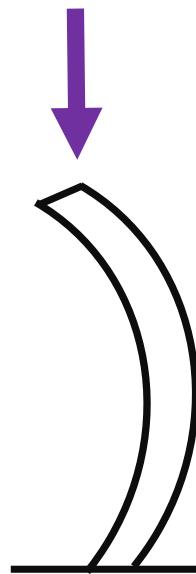
Flambagem é no mundo ideal

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

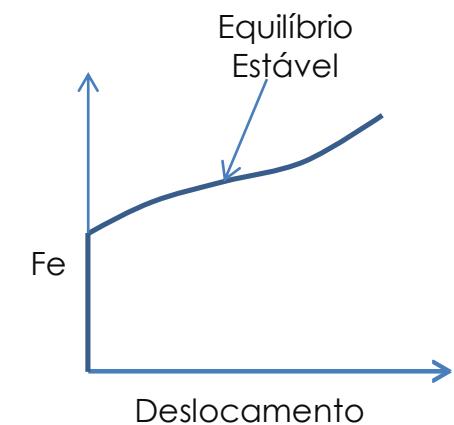
Definindo Instabilidade e Flambagem



Pilar com imperfeições ou empenamentos



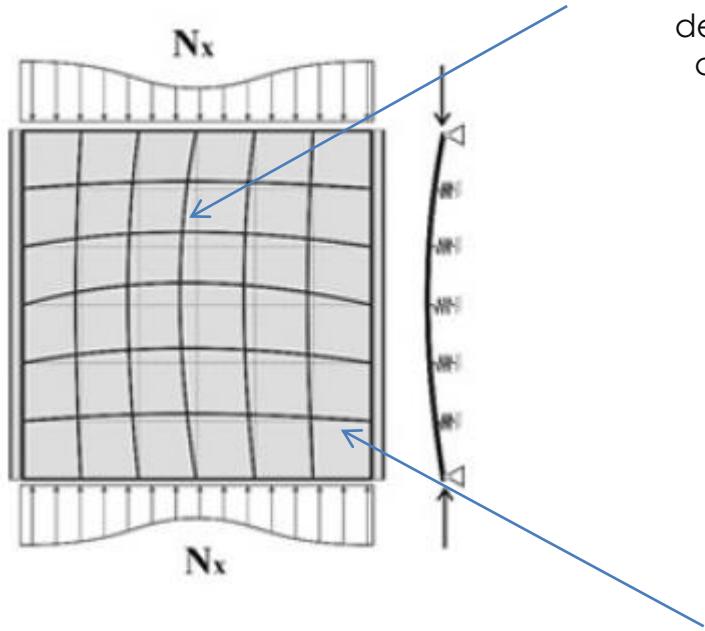
atinge o Estado Limite , podendo a força exercida ser menor que a F_e



No mundo real chamamos de Instabilidade

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Método das Larguras Efetivas



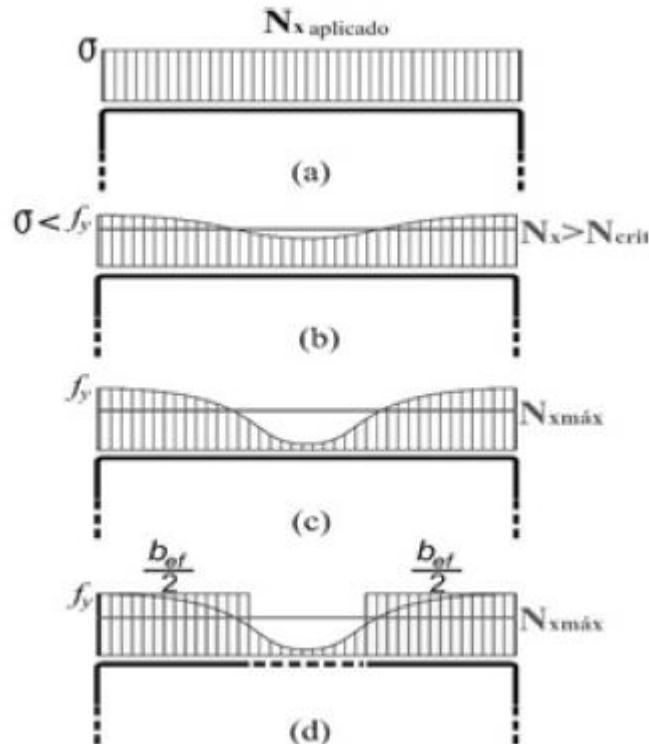
Linhas verticais tendem a deformar devido a instabilidade local causada pelo esforço de compressão

**TENSÕES SÃO “ATRAÍDAS”
PARA OS APOIOS, E SÃO
ALIVIADAS NO CENTRO**

Linhas horizontais tentam devolver as linhas verticais para a posição original

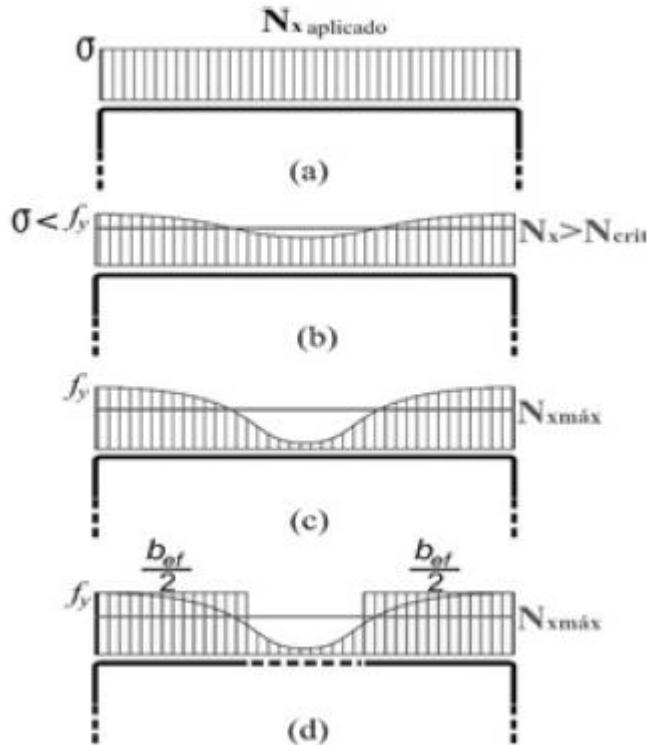
Método das Larguras Efetivas

Diagrama de tensões não é uniforme.



Para trabalhar corretamente devemos linearizar o diagrama, adotando uma largura fictícia B_{ef} para o elemento a ser dimensionado

Método das Larguras Efetivas



$$\int_0^b \sigma \cdot t \, ds = b_{ef} f_{max}$$

Método das Seções Efetivas

**Método mais prático, também coberto
pela NBR14762/10**

**Tem algumas limitações porém atende
às necessidades de dimensionamento
de perfis comuns no dia-dia profissional**

**No final os resultados são bem
próximos aos do MLE**

Dimensionamento de Perfis Formados a Frio

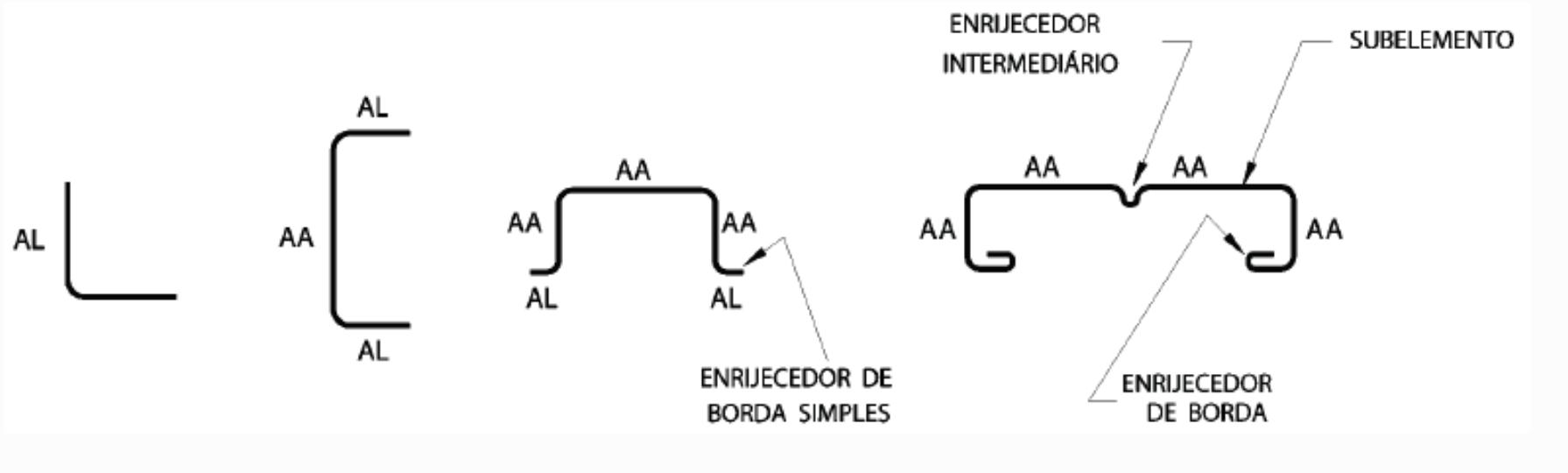
Aula 02

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Método das Seções Efetivas

**Calculamos as propriedades
geométricas da seção
(reduzidas) à partir de uma força
local de flambagem elástica**

Método das Seções Efetivas



Método das Seções Efetivas

Caso a ser analisado	Valor máximo da relação largura-espessura ¹⁾
Mesas enrijecida (b_f) com enrijecedor de borda simples.	$(b/t)_{\max} = 60$ ²⁾
Mesas enrijecidas (b_f) com enrijecedor tendo $I_s \geq I_a$.	$(b/t)_{\max} = 90$
Alma de perfis U não enrijecidos sujeita à compressão uniforme	$(b/t)_{\max} = 90$
Elemento com ambas as bordas vinculadas a elementos AA	$(b/t)_{\max} = 500$ ³⁾
Elemento AL ou AA com enrijecedor de borda tendo $I_s < I_a$.	$(b/t)_{\max} = 60$ ²⁾
Alma de vigas sem enrijecedores transversais.	$(b/t)_{\max} = 200$
Alma de vigas com enrijecedores transversais apenas nos apoios.	$(b/t)_{\max} = 260$
Alma de vigas com enrijecedores transversais nos apoios e intermediários.	$(b/t)_{\max} = 300$

¹⁾ b_f e b_w são as larguras do elemento; t é a espessura.

²⁾ Para evitar deformações excessivas do elemento, recomenda-se $(b/t)_{\max} = 30$.

³⁾ Para evitar deformações excessivas do elemento, recomenda-se $(b/t)_{\max} = 250$.

Método das Seções Efetivas

Barras comprimidas (Fluxograma de Cálculo)

$$\lambda = L/r \leq 200$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x L_x)^2}$$

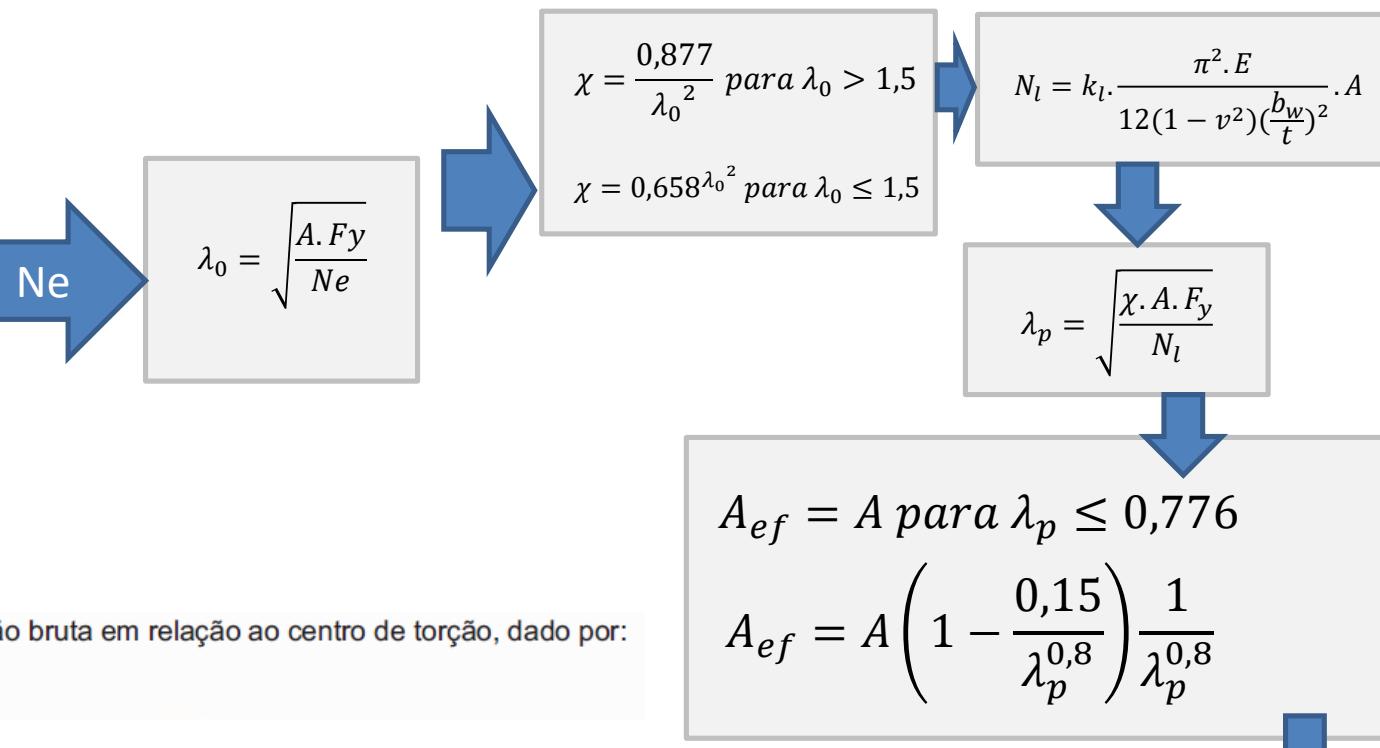
$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y L_y)^2}$$

$$N_{EZ} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{(K_z L_z)^2} + G \cdot I_t$$

r_0 é o raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção, dado por:

$$r_0 = [r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2]^{0,5}$$

$\nu = \text{coeficiente de poisson do aço (0,3)}$



$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,2}$$

Método das Seções Efetivas

Caso a	<p>Seção U simples e Seção Z simples</p> $k_t = 4,0 + 3,4 \eta + 21,8 \eta^2 - 174,3 \eta^3 + 319,9 \eta^4 - 237,6 \eta^5 + 63,6 \eta^6$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0)$
Caso b	<p>Seção U enrijecido, Seção Z enrijecido e Seção cartola</p> $k_t = 6,8 - 5,8 \eta + 9,2 \eta^2 - 6,0 \eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0 \text{ e } 0,1 \leq D/b_w \leq 0,3)$
Caso c	<p>Seção rack</p> $k_t = 6,5 - 3,0 \eta + 2,8 \eta^2 - 1,6 \eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0 ; 0,1 \leq D/b_w \leq 0,3 \text{ e } 0,1 \leq b_s/b_w \leq 0,4)$
Caso d	<p>Seção tubular retangular com solda de costura contínua (para seção tubular retangular formada por dois perfis U simples ou U enrijecido com solda de costura intermitente, k_t deve ser calculado para cada perfil isoladamente).</p> $k_t = 6,6 - 5,8 \eta + 8,6 \eta^2 - 5,4 \eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0)$

$\eta = b_f / b_w$	Caso a	Caso b	Caso c	Caso d
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido, Seção Z enrijecido e Seção cartola	Seção rack	Seção tubular retangular (solda de costura contínua)
0,1	4,25	-	-	-
0,2	4,52	6,04	-	5,67
0,3	4,33	5,73	5,76	5,44
0,4	3,71	5,55	5,61	5,29
0,5	2,88	5,40	5,47	5,16
0,6	2,17	5,26	5,35	5,03
0,7	1,67	5,11	5,23	4,87
0,8	1,32	4,89	5,10	4,66
0,9	1,06	4,56	4,85	4,37
1,0	0,88	4,10	4,56	4,00

NOTA 1 b_f , b_w , b_s e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas Figuras da Tabela 9.

NOTA 2 Para o caso b, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$.

NOTA 3 Para o caso c, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$ e $0,1 \leq b_s/b_w \leq 0,4$.

NOTA 4 Para valores intermediários, interpolar linearmente.

Determinação de K_I

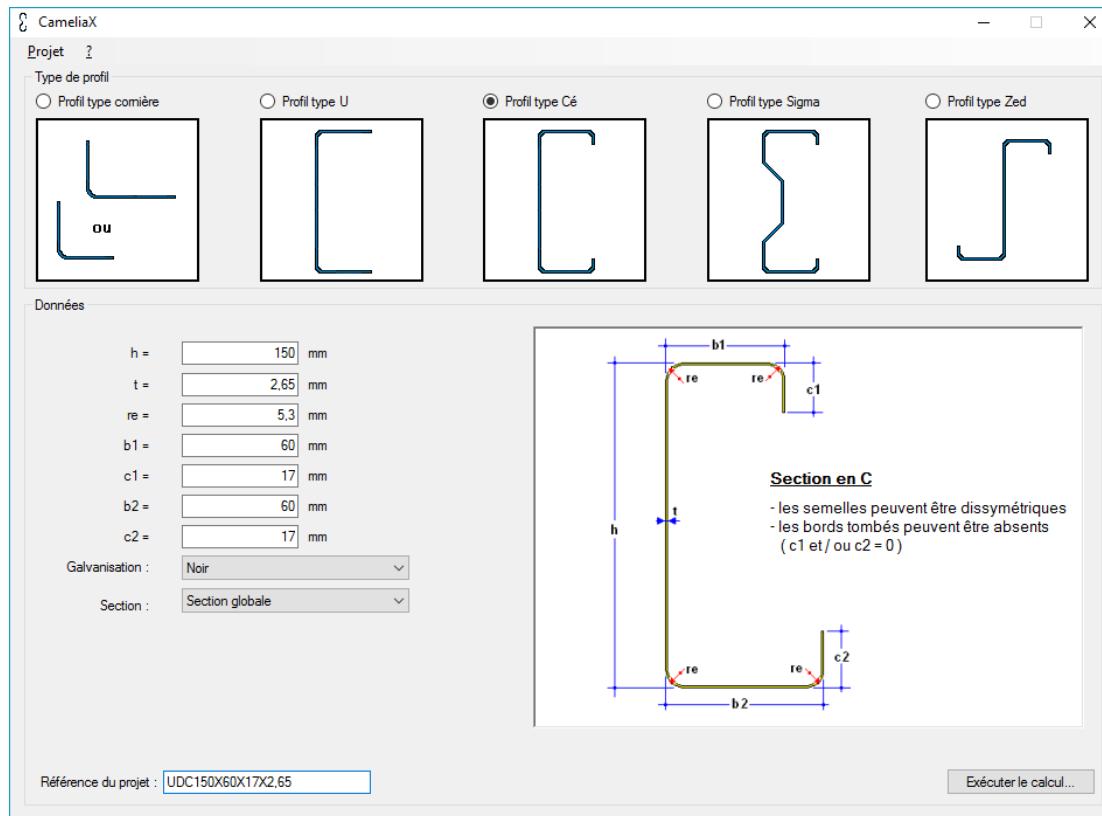
NOTA 1 b_f , b_w , b_s e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado na Figura correspondente.

NOTA 2 $\eta = b_f / b_w$.

Método das Seções Efetivas

**Exemplo: Determinar o Nrd para o perfil UE 150X60X17X2,65 ABNT CF-24
Solicitado à compressão axial com $K_x \cdot L_x = K_y \cdot L_y = K_z \cdot L_z = 250$ cm**

Passo 1 – determinar as propriedades geométricas necessárias



Através do CameliaX

Método das Seções Efetivas

**Exemplo: Determinar o Nrd para o perfil UE 150X60X17X2,65 ABNT CF-24
Solicitado à compressão axial com Kx.Lx = Ky.Ly = Kz.Lz = 250 cm**

Passo 1 – determinar as propriedades geométricas necessárias

Note de calcul

Fichier

Unités de calcul: cm & degré

Orientation du premier élément $\gamma_0 = -180^\circ$

	droit	t=0.265	b=1.17	
1	droit	t=0.265	re=0.53	$\gamma=-90^\circ$
2	courbe	t=0.265	b=4.94	
3	droit	t=0.265	re=0.53	$\gamma=-90^\circ$
4	courbe	t=0.265	b=13.94	
5	droit	t=0.265	re=0.53	$\gamma=-90^\circ$
6	courbe	t=0.265	b=4.94	
7	droit	t=0.265	re=0.53	$\gamma=-90^\circ$
8	courbe	t=0.265	b=1.17	
9	droit	t=0.265		

Développée théorique = 28.6576 cm

$A = 7.594 \text{ cm}^2$ $p = 5.961 \text{ Kg/m}$ $J = 0.1777 \text{ cm}^4$

Caractéristiques par rapport aux axes de référence

Coordonnées du centre de gravité : $Y_g = 1.839 \text{ cm}$ $Z_g = 7.5 \text{ cm}$

Coordonnées du centre de cisaillement : $Y_c = -2.531 \text{ cm}$ $Z_c = 7.5 \text{ cm}$

$I_y = 261.936 \text{ cm}^4$ $i_y = 5.8729 \text{ cm}$

$V_y = 7.5 \text{ cm}$ $W_{el,y} = 34.925 \text{ cm}^3$

$I_z = 35.546 \text{ cm}^4$ $i_z = 2.1635 \text{ cm}$

$V_{z,max} = 4.161 \text{ cm}$ $W_{el,z,min} = 8.543 \text{ cm}^3$

$V_{z,min} = 1.839 \text{ cm}$ $W_{el,z,max} = 19.326 \text{ cm}^3$

Moment d'inertie sectoriel = 1589.8398 cm^6

Método das Seções Efetivas

**Exemplo: Determinar o Nrd para o perfil UE 150X60X17X2,65 ABNT CF-24
Solicitado à compressão axial com Kx.Lx = Ky.Ly = Kz.Lz = 250 cm**

Passo 2 – Calcular Ne

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20500.261,94}{(250)^2} = 847,10 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y L_y)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20500.35,546}{(250)^2} = 114,96 \text{ kN}$$

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x^2 + y^2} = \sqrt{5,87^2 + 2,16^2 + 1,83^2 + 7,5^2} = 9,93 \text{ cm}$$

$$N_{ez} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{(K_z L_z)^2} + G \cdot I_t}{(r_0)^2} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot 20500.1590}{(250)^2} + 7700.0,1777}{(9,93)^2} = 66,023 \text{ kN}$$

Método das Seções Efetivas

**Exemplo: Determinar o Nrd para o perfil UE 150X60X17X2,65 ABNT CF-24
Solicitado à compressão axial com Kx.Lx = Ky.Ly = Kz.Lz = 250 cm**

Passo 3 – Calcular λ_0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{7,59 \cdot 24}{66,023}} = 1,66$$

Passo 4 – Calcular X

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \text{ para } \lambda_0 > 1,5 \quad \chi = \frac{0,877}{1,66^2} = 0,3182$$

Passo 5 – Calcular Nl

$$\frac{b_f}{b_w} = \frac{60}{150} = 0,4 \text{ portanto } kl = 5,55$$

$$N_l = k_l \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1 - v^2) \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} \cdot A$$

$$N_l = 5,55 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 20500}{12(1 - 0,3^2) \left(\frac{15}{0,265}\right)^2} \cdot 7,59 = 243,35 \text{ kN}$$

$\eta = b_f / b_w$	Caso a	Caso b	Caso c	Caso d
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido, Seção Z enrijecido e Seção cartola	Seção rack	Seção tubular retangular (solda de costura contínua)
0,1	4,25	-	-	-
0,2	4,52	6,04	-	5,67
0,3	4,33	5,73	5,76	5,44
0,4	3,71	5,55	5,61	5,29
0,5	2,88	5,40	5,47	5,16
0,6	2,17	5,26	5,35	5,03
0,7	1,67	5,11	5,23	4,87
0,8	1,32	4,89	5,10	4,66
0,9	1,06	4,56	4,85	4,37
1,0	0,88	4,10	4,56	4,00

NOTA 1: b_t, b_w, b_s e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas Figuras da Tabela 9.

NOTA 2: Para o caso b, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$.

NOTA 3: Para o caso c, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$ e $0,1 \leq b_s/b_w \leq 0,4$.

NOTA 4: Para valores intermediários, interpolar linearmente.

Método das Seções Efetivas

Exemplo: Determinar o Nrd para o perfil UE 150X60X17X2,65 ABNT CF-24
Solicitado à compressão axial com Kx.Lx = Ky.Ly = Kz.Lz = 250 cm

Passo 6 – Calcular λ_p

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi \cdot A \cdot F_y}{N_l}} = \sqrt{\frac{0,3182 \cdot 7,59 \cdot 24}{243,35}} = 0,488$$

$A_{ef} = A$ para $\lambda_p \leq 0,776$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,2} \quad N_{c,Rd} = \frac{0,3182 \cdot 7,59 \cdot 24}{1,2}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,3182 \cdot 7,59 \cdot 24}{1,2} = 48,30 \text{ kN}$$

Dimensionamento de Perfis Formados a Frio

Aula 03

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

Para Escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot F_y}{1,1}$$

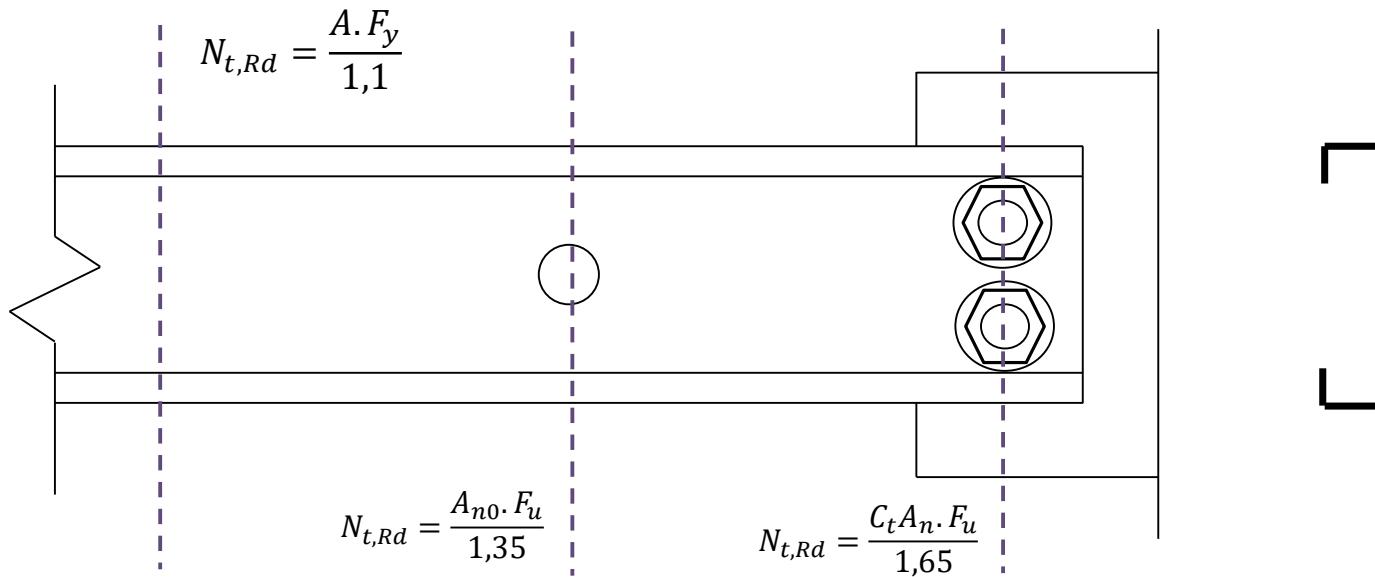
Para Ruptura da Seção Líquida fora da região de ligação

$$N_{t,Rd} = \frac{A_{n0} \cdot F_u}{1,35}$$

Para Ruptura da Seção Líquida na região da ligação

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t A_n \cdot F_u}{1,65}$$

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO



MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

Diâmetro nominal do parafuso (d)	Diâmetro do furo-padrão	Diâmetro do furo alargado	Dimensões do furo pouco alongado	Dimensões do furo muito alongado
$< 12,5$	$d+0,8$	$d +1,5$	$(d+0,8) \times (d+6)$	$(d+0,8) \times (2,5d)$
$\geq 12,5$	$d+1,5$	$d +5$	$(d+1,5) \times (d+6)$	$(d+1,5) \times (2,5d)$

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO CHAPAS PARAFUSADAS

C_t é o coeficiente de redução da área líquida, dado por:

- Uma linha de parafusos perpendicular à direção da solicitação:

$$C_t = 2,5 \cdot (d/g) \leq 1$$

- Duas linhas de parafusos perpendiculares à direção da solicitação:

$$C_t = 0,5 + 1,25 \cdot (d/g) \leq 1$$

- Três linhas de parafusos perpendiculares à direção da solicitação:

$$C_t = 0,67 + 0,83 \cdot (d/g) \leq 1$$

- Três linhas de parafusos perpendiculares à direção da solicitação:

$$C_t = 0,75 + 0,625 \cdot (d/g) \leq 1$$

d é o diâmetro nominal do parafuso

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO CHAPAS SOLDADAS

C_t é o coeficiente de redução da área líquida, dado por:

- SOLDAS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS

$$C_t = 1,0$$

- SOMENTE SOLDAS LONGITUDINAIS EM AMBAS AS BORDAS

para $b \leq L < 1,5b$: $C_t = 0,75$

para $1,5b \leq L < 2b$: $C_t = 0,87$

para $L \geq 2b$: $C_t = 1,0$

b é a largura da chapa, L o comprimento do cordão de solda

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO PERFIS PARAFUSADOS

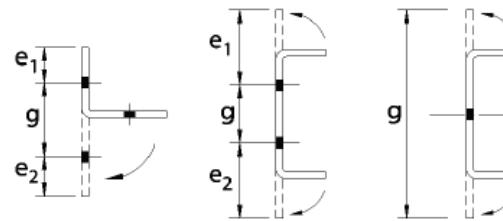
C_t é o coeficiente de redução da área líquida, dado por:

- TODOS OS ELEMENTOS CONECTADOS POR DOIS OU MAIS PARAFUSOS NA DIREÇÃO DA SOLICITAÇÃO

$$C_t = 1,0$$

- TODOS OS FUROS EM UM ÚNICO PLANO, NÃO NECESSARIAMENTE TODOS OS ELEMENTOS CONECTADOS

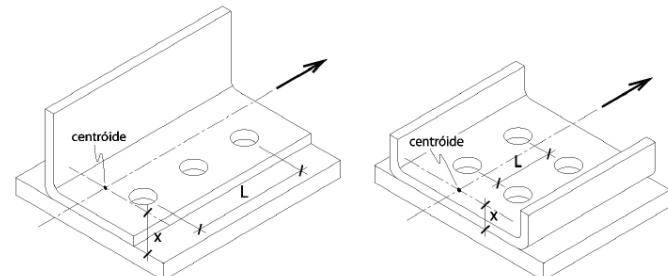
$$C_t = 2,5 \cdot (d/g) \leq 1$$



- CANTONEIRAS E PERFIS U COM DOIS OU MAIS PARAFUSOS NA DIREÇÃO DA SOLICITAÇÃO, NEM TODOS OS ELEMENTOS CONECTADOS

$$C_t = 1 - 0,36 \cdot \left(\frac{x}{L} \right) \leq 0,9$$

Jamais adotar valores menores que 0,4



MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO PERFIS SOLDADOS

C_t é o coeficiente de redução da área líquida, dado por:

- APENAS SOLDAS TRANSVERSAIS (ÁREA LÍQUIDA É A ÁREA DA SEÇÃO DA PARTE SOLDADA APENAS)

$$C_t = 1,0$$

- SOLDAS LONGITUDINAIS OU SOLDAS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS (TODOS OS ELEMENTOS)

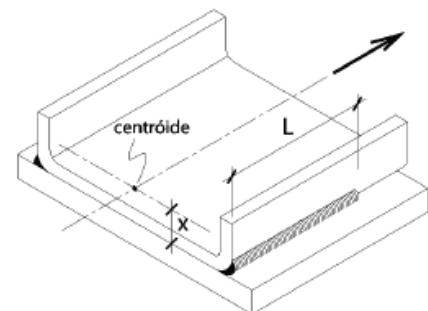
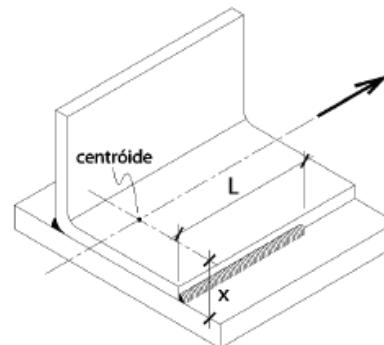
$$C_t = 1,0$$

- PCANTONEIRAS E PERFIS U SOLDADOS COM SOLDAS LONGITUDINAIS

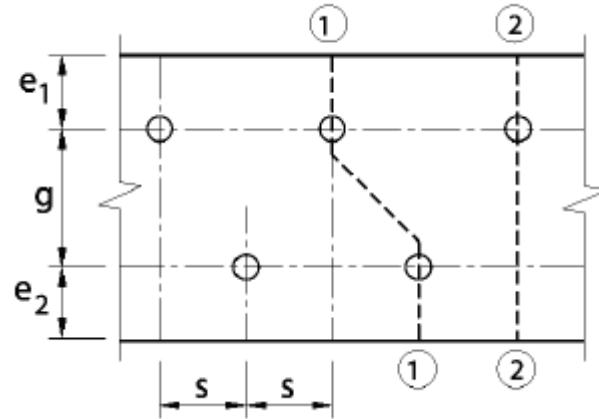
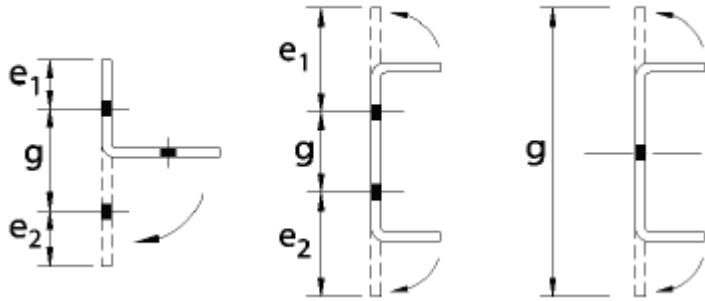
$$\text{Cantoneiras} \rightarrow C_t = 1 - 1,2 \cdot \left(\frac{x}{L} \right) \leq 0,9$$

Jamais adotar valores menores que 0,4

$$\text{Perfis U} = 1 - 0,36 \cdot \left(\frac{x}{L} \right) \leq 0,9$$



MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO



Para chapas com ligações parafusadas em zig-zag, devem ser analisadas as prováveis linhas de ruptura (Figura 4a), sendo a seção crítica aquela correspondente ao menor valor da área líquida. A área líquida da seção de ruptura analisada deve ser calculada por:

$$A_n = 0,9(A - n_f d_f t + \sum ts^2 / 4g)$$

Para ligações soldadas, considerar $A_n = A$. Nos casos em que houver apenas soldas transversais (soldas de topo), A_n deve ser considerada igual à área bruta da(s) parte(s) conectada(s) apenas.

d_f é a dimensão do furo na direção perpendicular à solicitação, conforme Tabela 15;

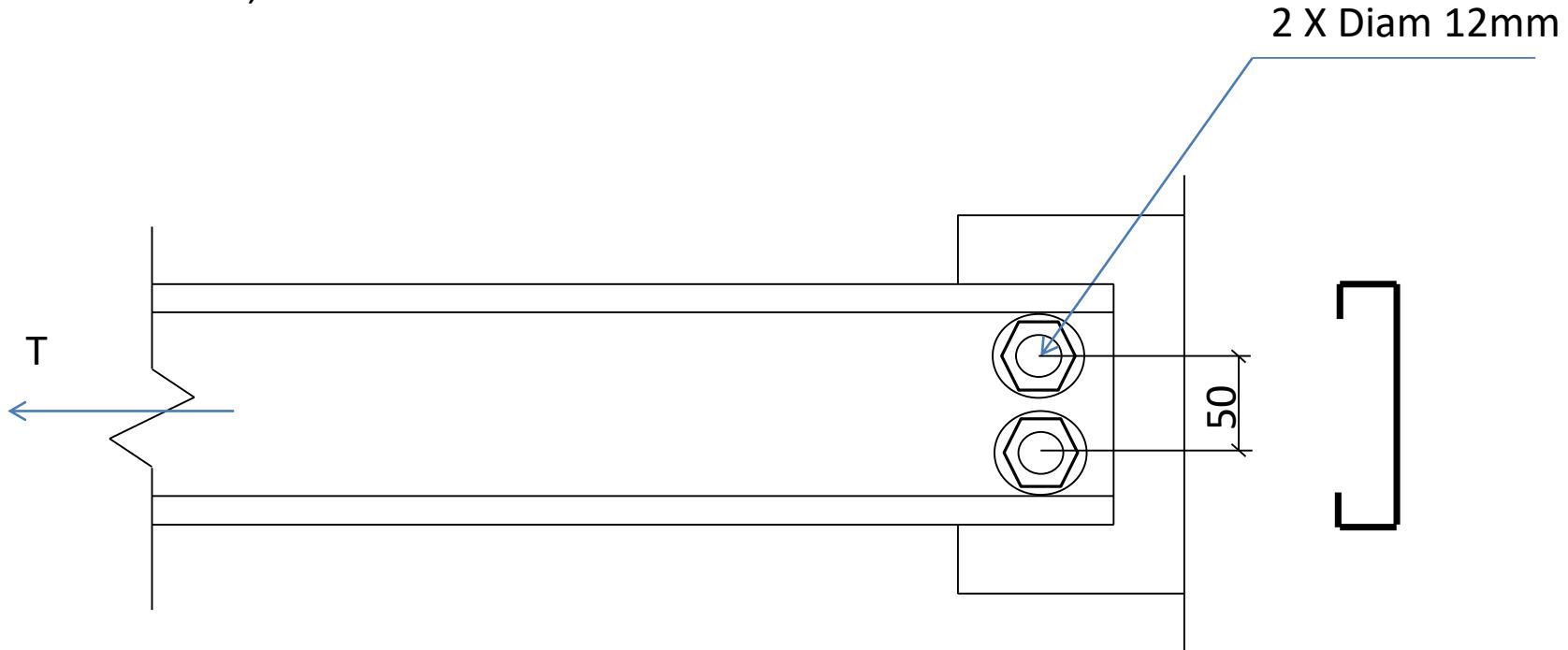
n_f é a quantidade de furos contidos na linha de ruptura analisada;

s é o espaçamento dos furos na direção da solicitação (Figura 4a);

g é o espaçamento dos furos na direção perpendicular à solicitação (Figura 4a);

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

Exercício: determinar o esforço de tração resistente de cálculo do perfil Ue
127X50X17X2,65 ABNT CF-24



MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

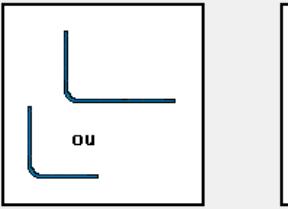
Propriedades no CameliaX

CameliaX

Projet ?

Type de profil

Profil type comière Profil type U Profil type Cé Profil type Sigma Profil type Zed



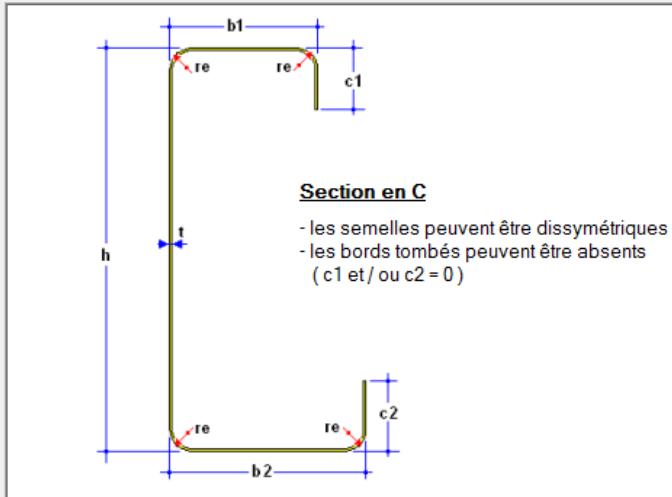
Données

h = 127 mm
t = 2,65 mm
re = 5,3 mm
b1 = 50 mm
c1 = 17 mm
b2 = 50 mm
c2 = 17 mm

Galvanisation : Noir

Section : Section globale

Référence du projet : UE127X50X17X2,65



Section en C

- les semelles peuvent être dissymétriques
- les bords tombés peuvent être absents (c1 et/ ou c2 = 0)

Exécuter le calcul...

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

Propriedades no CameliaX

Unités de calcul: cm & degré

Orientation du premier élément $\gamma_0 = -180^\circ$

1	droit	t=0.265	b=1.17	
2	courbe	t=0.265	re=0.53	$\gamma=-90^\circ$
3	droit	t=0.265	b=3.94	
4	courbe	t=0.265	re=0.53	$\gamma=-90^\circ$
5	droit	t=0.265	b=11.64	
6	courbe	t=0.265	re=0.53	$\gamma=-90^\circ$
7	droit	t=0.265	b=3.94	
8	courbe	t=0.265	re=0.53	$\gamma=-90^\circ$
9	droit	t=0.265	b=1.17	

Développée théorique = 24.3576 cm

A = 6.455 cm²

p = 5.067 Kg/m

J = 0.1511 cm⁴

Caractéristiques par rapport aux axes de référence

Coordonnées du centre de gravité :

$Y_g = 1.596$ cm

$Z_g = 6.35$ cm

Coordonnées du centre de cisaillement :

$Y_c = -2.162$ cm

$Z_c = 6.35$ cm

$I_y = 157.127$ cm⁴

$i_y = 4.9338$ cm

$v_y = 6.35$ cm

$W_{el,y} = 24.744$ cm³

$I_z = 21.525$ cm⁴

$i_z = 1.8261$ cm

$v_{z,max} = 3.404$ cm

$W_{el,z,min} = 6.324$ cm³

$v_{z,min} = 1.596$ cm

$W_{el,z,max} = 13.486$ cm³

Moment d'inertie sectoriel = 723.3121 cm⁶

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

Para Escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot F_y}{1,1} \quad N_{t,Rd} = \frac{6,45 \cdot 24}{1,1} = 140,72 \text{ kN}$$

Para Ruptura da Seção Líquida na região da ligação

Determinar A_n :

$$A_n = 0,9(A - n_f \cdot d_f \cdot t) = 0,9 \cdot (6,45 - 2 \cdot (1,2 + 0,15) \cdot 0,265) = 5,16 \text{ cm}^2$$

Determinar C_t :

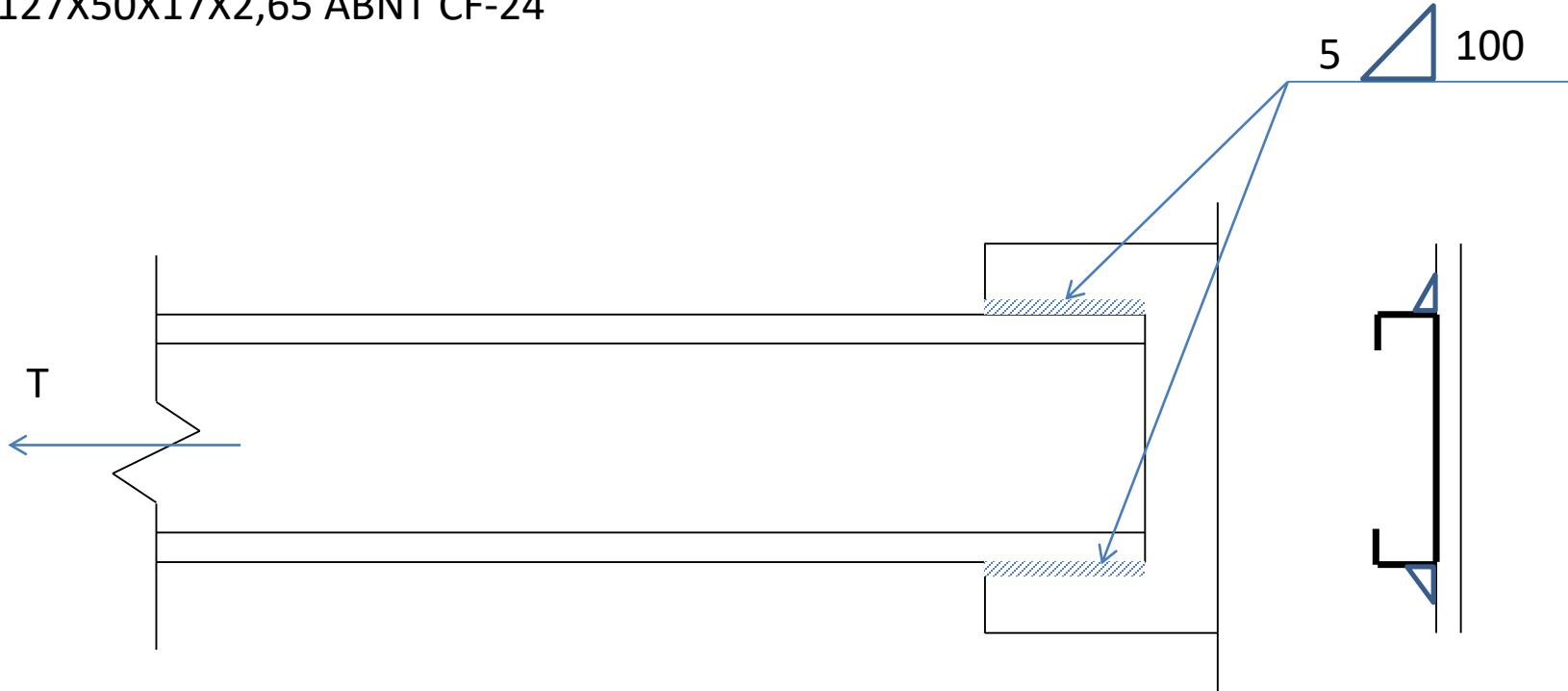
$$C_t = 2,5 \cdot (d/g) \leq 1 \quad C_t = 2,5 \cdot ((1,2 + 0,15)/5) = 0,675$$

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t A_n \cdot F_u}{1,65}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,675 \cdot 5,16 \cdot 37}{1,65} = 78,10 \text{ kN}$$

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

Exercício: determinar o esforço de tração resistente de cálculo do perfil Ue
127X50X17X2,65 ABNT CF-24



MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

Para Escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot F_y}{1,1} \quad N_{t,Rd} = \frac{6,45 \cdot 24}{1,1} = 140,72 \text{ kN}$$

Para Ruptura da Seção Líquida na região da ligação

Determinar A_n :

$$A_n = A = 6,45 \text{ cm}^2 \text{ (Apenas soldas longitudinais)}$$

Determinar C_t :

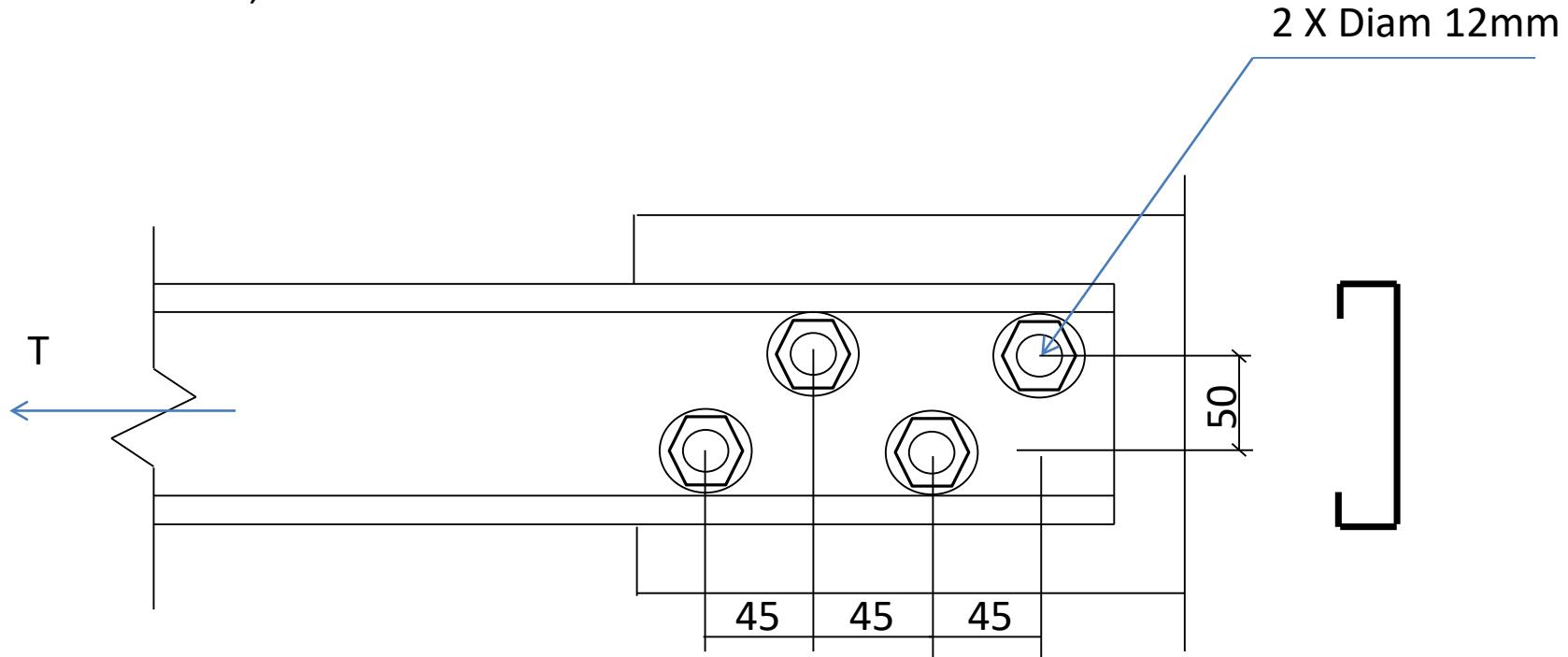
$$C_t = 1 - 0,36 \left(\frac{x}{L} \right) \quad C_t = 1 - 0,36 \left(\frac{1,59}{10} \right) = 0,942$$

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t A_n \cdot F_u}{1,65}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,942 \cdot 6,45 \cdot 37}{1,65} = 136 \text{ kN}$$

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

Exercício: determinar o esforço de tração resistente de cálculo do perfil Ue
127X50X17X2,65 ABNT CF-24



MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

Para Escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot F_y}{1,1} \quad N_{t,Rd} = \frac{6,45 \cdot 24}{1,1} = 140,72 \text{ kN}$$

Para Ruptura da Seção Líquida na região da ligação

Determinar A_n :

$$A_n = 0,9(A - n_f \cdot d_f \cdot t + \sum ts^2/4g) = 0,9 \cdot \left(6,45 - 2 \cdot (1,2 + 0,15) \cdot 0,265 + \frac{0,265 \cdot 4,5^2}{4,5} \right) = 4,92 \text{ cm}^2$$

Determinar C_t :

$$C_t = 1 - 0,36 \cdot \left(\frac{x}{L} \right) \leq 0,9 \quad C_t = 1 - 0,36 \cdot \left(\frac{1,59}{4,5 \cdot 3} \right) = 0,9576$$

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t A_n \cdot F_u}{1,65}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9576 \cdot 4,92 \cdot 37}{1,65} = 105,64 \text{ kN}$$

Dimensionamento de Perfis Formados a Frio

Aula 04

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Início do escoamento da Seção Efetiva

$$W_c = \frac{I}{d} \text{ (mesa comprimida)} \longrightarrow M_l = \frac{k_l \cdot \pi^2 \cdot E \cdot W_c}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_l}} \quad \longrightarrow \quad W_{ef} = W \cdot \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \cdot \frac{1}{\lambda_p} \text{ para } \lambda_p > 0,673$$

$$W_{ef} = W \text{ para } \lambda_p \leq 0,673$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{ef} \cdot F_y}{1,1}$$

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Caso a	<p>Seção U simples e Seção Z simples</p> $k_t = \eta^{1,843} \quad (0,1 \leq \eta \leq 1,0)$
Caso b	<p>Seção U enrijecido e Seção Z enrijecido</p> <p>As expressões a seguir são válidas para $0,2 \leq \eta \leq 1,0$ e para os valores de μ indicados</p> $k_t = a - b(\mu - 0,2)$ $a = 81 - 730\eta + 4\,261\eta^2 - 12\,304\eta^3 + 17\,919\eta^4 - 12\,796\eta^5 + 3\,574\eta^6$ $b = 0 \quad \text{para } 0,1 \leq \mu \leq 0,2 \quad \text{e } 0,2 \leq \eta \leq 1,0$ $b = 0 \quad \text{para } 0,2 < \mu \leq 0,3 \quad \text{e } 0,6 < \eta \leq 1,0$ $b = 320 - 2\,788/\mu + 13\,458\eta^2 - 27\,667\eta^3 + 19\,167\eta^4 \quad \text{para } 0,2 < \mu \leq 0,3 \quad \text{e } 0,2 \leq \eta \leq 0,6$
Caso c	<p>Seção tubular retangular com solda de costura contínua (para seção tubular retangular formada por dois perfis U simples ou U enrijecido com solda de costura intermitente, k_t deve ser calculado para cada perfil isoladamente).</p> $k_t = 14,5 + 178\eta - 602\eta^2 + 649\eta^3 - 234\eta^4 \quad (0,1 \leq \eta \leq 1,0)$

NOTA 1 b_f , b_w e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado na Figura correspondente.

NOTA 2 $\eta = b_f / b_w$.

NOTA 3 $\mu = D/b_w$.

Valores de kl

$\eta = b_f / b_w$	Caso a	Caso b		Caso c
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido e Seção Z enrijecido	Seção tubular retangular (solda de costura contínua)	
		$\mu \leq 0,2$	$\mu = 0,25$	$\mu = 0,3$
0,2	18,4	32,0	25,8	21,2
0,3	9,6	29,3	23,8	19,7
0,4	5,6	24,8	20,7	18,2
0,5	3,6	18,7	17,6	16,0
0,6	2,6	13,6	13,3	13,0
0,7	1,9	10,2	10,1	10,1
0,8	1,5	7,9	7,9	7,9
0,9	1,2	6,2	6,3	6,3
1,0	1,0	5,1	5,1	5,1

NOTA 1 b_f , b_w e D são a largura nominal da mesa, da alma e do enrijecedor de borda, respectivamente.

NOTA 2 $\mu = D/b_w$.

NOTA 3 Para valores intermediários interpolar linearmente.

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Flambagem Lateral com Torção

$$\chi_{FLT}:$$
$$\begin{cases} \chi_{FLT} = 1,0 \text{ para } \lambda_0 \leq 0,6 \\ \chi_{FLT} = 1,1 \cdot (1 - 0,278\lambda_0^2) \text{ para } 0,6 < \lambda_0 < 1,336 \\ \chi_{FLT} = \frac{1}{\lambda_0^2} \text{ para } \lambda_0 \geq 1,336 \end{cases}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_c \cdot F_y}{M_e}}$$

r_0 é o raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção, dado por:
$$r_0 = [r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2]^{0,5}$$

Seções simétricas ou duplamente simétricas fletidas em relação ao eixo DE SIMETRIA

$$M_e = C_b \cdot r_0 \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{ez}}$$
$$C_b = \frac{12,5M_{max}}{2,5M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 4 \cdot M_C} \text{ ou , } C_b = 1,0 \text{ a favor da segurança}$$

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Seções Z ponto-simétricas com carregamentos no plano da alma

$$M_e = 0,5 \cdot C_b \cdot r_0 \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{ez}}$$

Seções Caixão fechadas sujeitas a flexão em relação ao eixo X-X

$$M_e = C_b \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot G \cdot J}$$

a) força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo principal x:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2}$$

b) força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo principal y:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2}$$

c) força axial de flambagem global elástica por torção:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right]$$

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

$$W_c = \frac{I}{d} \text{(mesa comprimida)} \longrightarrow M_l = \frac{k_l \cdot \pi^2 \cdot E \cdot W_c}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2}$$

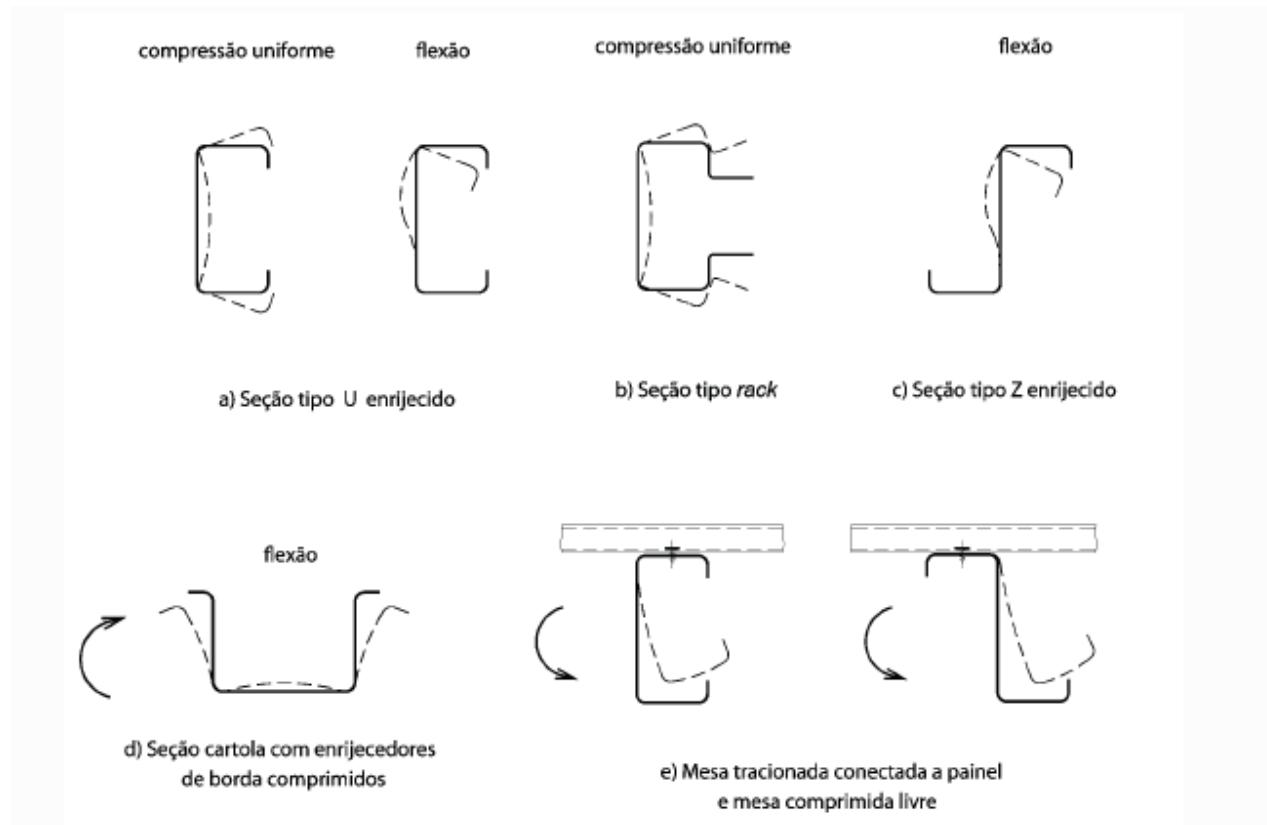
$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi_{FLT} \cdot W_c \cdot F_y}{M_l}} \longrightarrow W_{c,ef} = W_c \cdot \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \cdot \frac{1}{\lambda_p} \text{ para } \lambda_p > 0,673$$

$$W_{c,ef} = W_c \text{ para } \lambda_p \leq 0,673$$

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{FLT} W_{c,ef} \cdot F_y}{1,1}$$

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Flambagem Distorcional



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

DICA:

A flambagem distorcional requer cálculos mais complexos, mas nem todos os perfis estão sujeitos a esse modo de flambagem.

Por isso, sempre que possível e viável vamos selecionar perfis que dispensem essa verificação

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Valores mínimos de D/b_w para Seções U enrijecidas e Seções Z enrijecidas que dispensam verificação de Flambagem Distorcional

b_f/b_w	b_w/t				
	250	200	125	100	50
0,4	0,05	0,06	0,10	0,12	0,25
0,6	0,05	0,06	0,10	0,12	0,25
0,8	0,05	0,06	0,09	0,12	0,22
1,0	0,05	0,06	0,09	0,11	0,22
1,2	0,05	0,06	0,09	0,11	0,20
1,4	0,05	0,06	0,09	0,10	0,20
1,6	0,05	0,06	0,09	0,10	0,20
1,8	0,05	0,06	0,09	0,10	0,19
2,0	0,05	0,06	0,09	0,10	0,19

NOTA 1 b_f , b_w , e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas figuras da Tabela 9.

NOTA 2 Para valores intermediários, interpolar linearmente.

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Caso a	<p>Seção U simples e Seção Z simples</p> $k_t = 4,0 + 3,4 \eta + 21,8 \eta^2 - 174,3 \eta^3 + 319,9 \eta^4 - 237,6 \eta^5 + 63,6 \eta^6$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0)$
Caso b	<p>Seção U enrijecido, Seção Z enrijecido e Seção cartola</p> $k_t = 6,8 - 5,8 \eta + 9,2 \eta^2 - 6,0 \eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0 \text{ e } 0,1 \leq D/b_w \leq 0,3)$
Caso c	<p>Seção rack</p> $k_t = 6,5 - 3,0 \eta + 2,8 \eta^2 - 1,6 \eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0 ; 0,1 \leq D/b_w \leq 0,3 \text{ e } 0,1 \leq b_s/b_w \leq 0,4)$
Caso d	<p>Seção tubular retangular com solda de costura contínua (para seção tubular retangular formada por dois perfis U simples ou U enrijecido com solda de costura intermitente, k_t deve ser calculado para cada perfil isoladamente).</p> $k_t = 6,6 - 5,8 \eta + 8,6 \eta^2 - 5,4 \eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0)$

NOTA 1 b_f, b_w, b_s e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado na Figura correspondente.

NOTA 2 $\eta = b_f / b_w$.

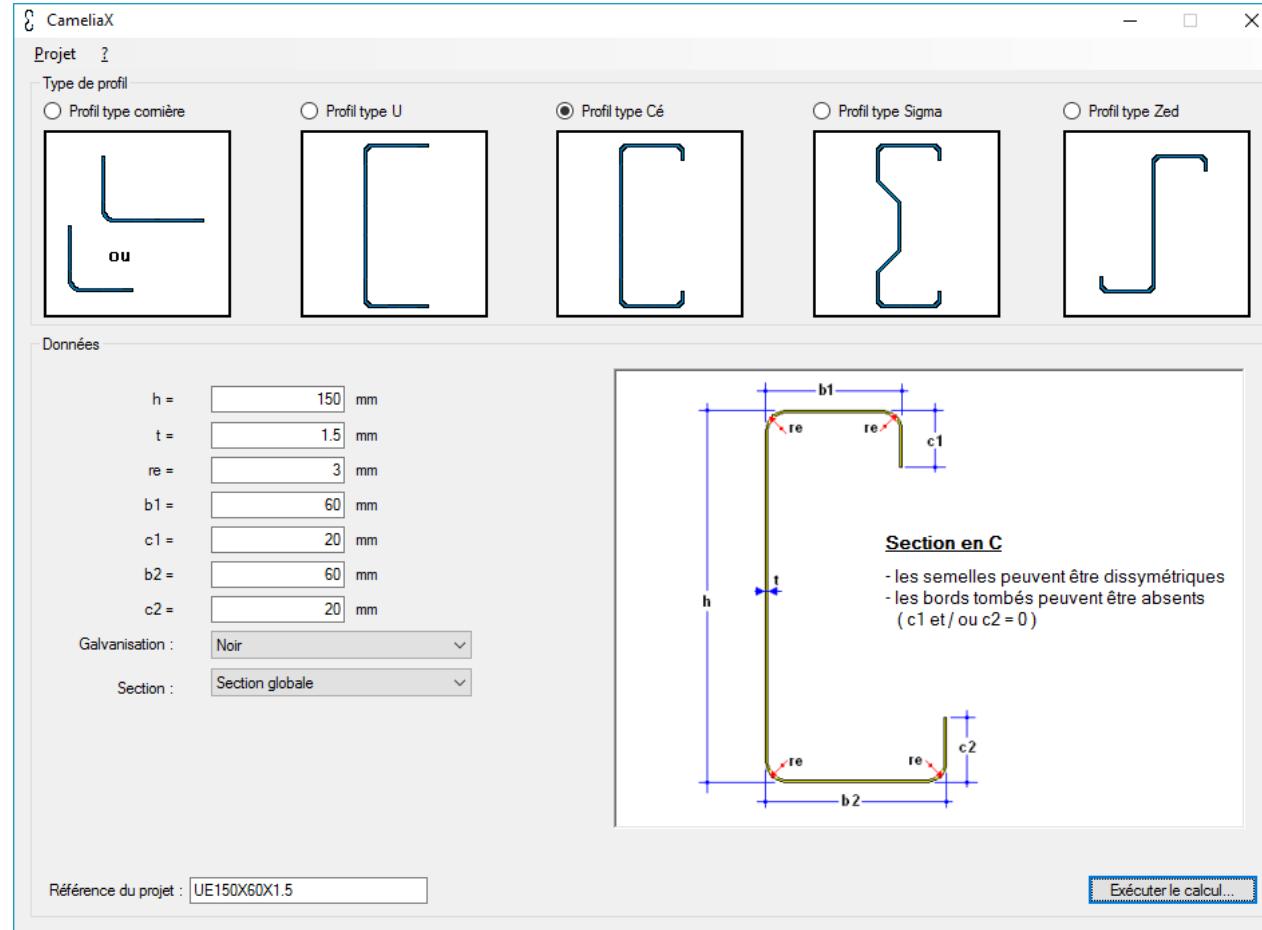
MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Exemplo: Determinar o M_{rd} de um perfil U enrijecido 150X60X1,50 ASTM A36 sujeito ao esforço de flexão simples em relação ao eixo X-X

Considerar: $L_x = 5000\text{mm}$, $L_y = 5000\text{mm}$ e $L_z = 5000\text{mm}$

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

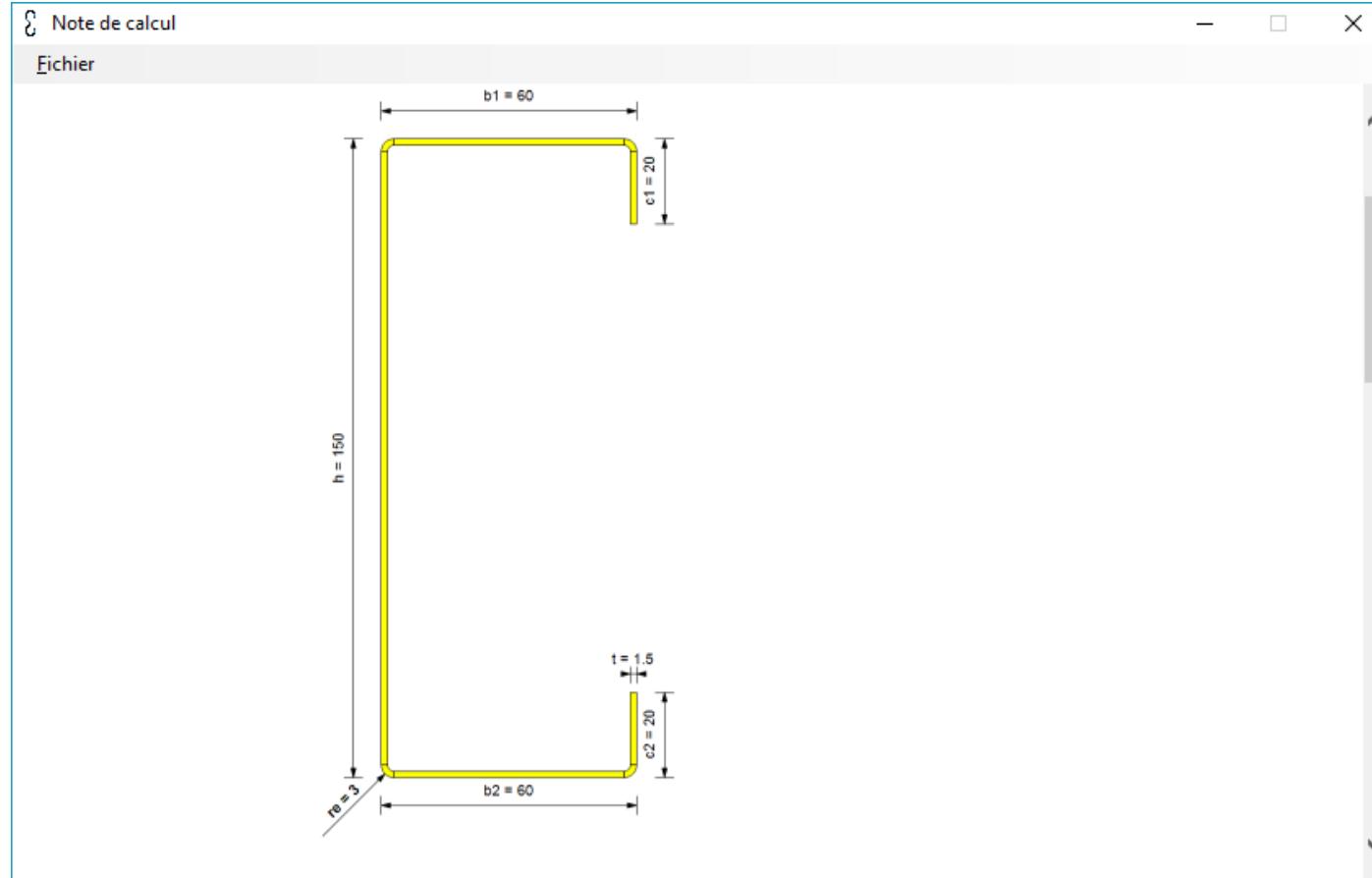
Propriedades no CameliaX



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Propriedades no CameliaX



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Propriedades no CameliaX

Note de calcul

Eichier

Unités de calcul: cm & degré
Orientation du premier élément $\gamma_0 = -180^\circ$

		t=0.15	b=1.7	$\gamma=-90^\circ$
1	droit	t=0.15	b=1.7	$\gamma=-90^\circ$
2	courbe	t=0.15	re=0.3	b=5.4
3	droit	t=0.15	re=0.3	re=0.3
4	courbe	t=0.15	b=14.4	$\gamma=-90^\circ$
5	droit	t=0.15	re=0.3	b=5.4
6	courbe	t=0.15	re=0.3	re=0.3
7	droit	t=0.15	b=1.7	$\gamma=-90^\circ$
8	courbe	t=0.15	re=0.3	$\gamma=-90^\circ$
9	droit	t=0.15	b=1.7	$\gamma=-90^\circ$

Développée théorique = 30.0137 cm

$A = 4.502 \text{ cm}^2$ $p = 3.534 \text{ Kg/m}$ $J = 0.0338 \text{ cm}^4$

Caractéristiques par rapport aux axes de référence

Coordonnées du centre de gravité : $Y_g = 1.928 \text{ cm}$ $Z_g = 7.5 \text{ cm}$
Coordonnées du centre de cisaillement : $Y_c = -2.793 \text{ cm}$ $Z_c = 7.5 \text{ cm}$

$I_y = 158.779 \text{ cm}^4$ $i_y = 5.9387 \text{ cm}$
 $v_y = 7.5 \text{ cm}$ $W_{el,y} = 21.171 \text{ cm}^3$
 $I_z = 23.333 \text{ cm}^4$ $i_z = 2.2766 \text{ cm}$
 $v_{z,max} = 4.072 \text{ cm}$ $W_{el,z,min} = 5.73 \text{ cm}^3$
 $v_{z,min} = 1.928 \text{ cm}$ $W_{el,z,max} = 12.102 \text{ cm}^3$

Moment d'inertie sectoriel = 1135.2021 cm^6

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Há necessidade de verificação de Instabilidade por distorção?

$$\frac{bw}{t} = \frac{150}{1,5} = 100$$

$$\frac{bf}{bw} = \frac{60}{150} = 0,4$$

$$\frac{D}{bw} = \frac{20}{150} = 0,1333 < 0,12$$

b_f/b_w	b_w/t				
	250	200	125	100	50
0,4	0,05	0,06	0,10	0,12	0,25
0,6	0,05	0,06	0,10	0,12	0,25
0,8	0,05	0,06	0,09	0,12	0,22
1,0	0,05	0,06	0,09	0,11	0,22
1,2	0,05	0,06	0,09	0,11	0,20
1,4	0,05	0,06	0,09	0,10	0,20
1,6	0,05	0,06	0,09	0,10	0,20
1,8	0,05	0,06	0,09	0,10	0,19
2,0	0,05	0,06	0,09	0,10	0,19

NOTA 1 b_f , b_w , e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas figuras da Tabela 9.

NOTA 2 Para valores intermediários, interpolar linearmente.

A tensão crítica de flambagem por distorção não é fator crítico para esse perfil

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Início do escoamento da Seção Efetiva

$$W_c = \frac{I}{d} \text{ (mesa comprimida)} \longrightarrow M_l = \frac{k_l \cdot \pi^2 \cdot E \cdot W_c}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_l}} \quad \longrightarrow \quad W_{ef} = W \cdot \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \cdot \frac{1}{\lambda_p} \text{ para } \lambda_p > 0,673$$

$$W_{ef} = W \text{ para } \lambda_p \leq 0,673$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{ef} \cdot F_y}{1,1}$$

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Início do escoamento da Seção Efetiva

$W_c = 21,171$ (CameliaX)

Note de calcul

Fichier

Unités de calcul: cm & degré
Orientation du premier élément $\gamma_0 = -180^\circ$

		t=0.15	b=1.7	
1	droit			
2	courbe	t=0.15	re=0.3	$\gamma=-90^\circ$
3	droit	t=0.15	b=5.4	
4	courbe	t=0.15	re=0.3	$\gamma=-90^\circ$
5	droit	t=0.15	b=14.4	
6	courbe	t=0.15	re=0.3	$\gamma=-90^\circ$
7	droit	t=0.15	b=5.4	
8	courbe	t=0.15	re=0.3	$\gamma=-90^\circ$
9	droit	t=0.15	b=1.7	

Développée théorique = 30.0137 cm
 $A = 4.502 \text{ cm}^2$ $p = 3.534 \text{ Kg/m}$ $J = 0.0338 \text{ cm}^4$

Caractéristiques par rapport aux axes de référence

Coordonnées du centre de gravité :	$Y_g = 1.928 \text{ cm}$	$Z_g = 7.5 \text{ cm}$
Coordonnées du centre de cisaillement :	$Y_c = -2.793 \text{ cm}$	$Z_c = 7.5 \text{ cm}$

$I_y = 158.779 \text{ cm}^4$ $i_y = 5.9387 \text{ cm}$
 $v_y = 7.5 \text{ cm}$ $W_{el,y} = 21.171 \text{ cm}^3$ ←
 $I_z = 23.333 \text{ cm}^4$ $i_z = 2.2766 \text{ cm}$
 $v_{z,max} = 4.072 \text{ cm}$ $W_{el,z,min} = 5.73 \text{ cm}^3$
 $v_{z,min} = 1.928 \text{ cm}$ $W_{el,z,max} = 12.102 \text{ cm}^3$
Moment d'inertie sectoriel = 1135.2021 cm^6

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Início do escoamento da Seção Efetiva

$$\mu = \frac{D}{bw} = \frac{20}{150} = 0,1333$$

$$\eta = \frac{bf}{bw} = \frac{60}{150} = 0,4$$

$$M_l = \frac{k_l \cdot \pi^2 \cdot E \cdot W_c}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2}$$

$$M_l = \frac{24,8 \cdot \pi^2 \cdot 20500 \cdot 21,17}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{150}{1,5}\right)^2} = 972,75 \text{ kN.cm}$$

$\eta = b_t / b_w$	Caso a	Caso b			Caso c
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido e Seção Z enrijecido		Seção tubular retangular (solda de costura contínua)	
	$\mu \leq 0,2$	$\mu = 0,25$	$\mu = 0,3$		
0,2	18,4	32,0	25,8	21,2	31,0
0,3	9,6	29,3	23,8	19,7	28,9
0,4	5,6	24,8	20,7	18,2	25,6
0,5	3,6	18,7	17,6	16,0	19,5
0,6	2,6	13,6	13,3	13,0	14,2
0,7	1,9	10,2	10,1	10,1	10,6
0,8	1,5	7,9	7,9	7,9	8,2
0,9	1,2	6,2	6,3	6,3	6,6
1,0	1,0	5,1	5,1	5,1	5,3

NOTA 1 b_t , b_w e D são a largura nominal da mesa, da alma e do enrijecedor de borda, respectivamente.

NOTA 2 $\mu = D/b_w$.

NOTA 3 Para valores intermediários interpolar linearmente.

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Início do escoamento da Seção Efetiva

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_l}} \rightarrow \sqrt{\frac{21,17 \cdot 25}{972,75}} = 0,7376$$

$$W_{ef} = W \cdot \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \cdot \frac{1}{\lambda_p} \text{ para } \lambda_p > 0,673$$

$$W_{ef} = 21,17 \cdot \left(1 - \frac{0,22}{0,7376}\right) \cdot \frac{1}{0,7376} = 20,14 \text{ cm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{ef} \cdot F_y}{1,1} \rightarrow \frac{20,14 \cdot 25}{1,1} = 457,74 \text{ kN.cm}$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Flambagem Lateral com Torção (FLT)

r_0 é o raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção, dado por:

$$r_0 = [r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2]^{0,5}$$

$$r_0 = \sqrt{[5,94^2 + 2,28^2 + 1,928^2 + 7,5^2]} = 10,02 \text{ cm}$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(Kx \cdot Lx)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 158,78}{(500)^2} = 128,50 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(Ky \cdot Ly)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 23,33}{(500)^2} = 18,88 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + GJ \right] = \frac{1}{10,02^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 1135,2}{500^2} + 7700 \cdot 0,0338 \right] = 11,74 \text{ kN}$$

$$M_e = C_b \cdot r_0 \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{ez}} \rightarrow 1 \cdot 10,02 \cdot \sqrt{18,88 \cdot 11,74} = 149,95 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_c \cdot F_y}{M_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{21,17 \cdot 25}{149,95}} = 1,88$$

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Flambagem Lateral com Torção (FLT)

$$\chi_{FLT}:$$

$\chi_{FLT} = 1,0 \text{ para } \lambda_0 \leq 0,6$

$\chi_{FLT} = 1,1 \cdot (1 - 0,278\lambda_0^2) \text{ para } 0,6 < \lambda_0 < 1,336$

$\chi_{FLT} = \frac{1}{\lambda_0^2} \text{ para } \lambda_0 \geq 1,336 \rightarrow \chi_{FLT} = \frac{1}{1,88^2} = 0,2829$

$$M_l = \frac{k_l \cdot \pi^2 \cdot E \cdot W_c}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} \rightarrow M_l = \frac{24,8 \cdot \pi^2 \cdot 20500 \cdot 21,17}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{150}{1,5}\right)^2} = 972,75 \text{ kN.cm}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi_{FLT} \cdot W_c \cdot F_y}{M_l}} \rightarrow \lambda_p = \sqrt{\frac{0,2829 \cdot 21,17 \cdot 25}{972,75}} = 0,3923$$

$$W_{c,ef} = W_c \text{ para } \lambda_p \leq 0,673$$

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{FLT} W_{c,ef} \cdot F_y}{1,1} \rightarrow \frac{0,2829 \cdot 21,17 \cdot 25}{1,1} = 136,11 \text{ kN.cm}$$

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO COMPOSTA

A força normal solicitante de cálculo e os momentos fletores solicitantes de cálculo devem satisfazer a expressão de interação indicada a seguir:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

Dimensionamento de Perfis Formados a Frio

Aula 05

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DISTORÇÃO DA SEÇÃO EFETIVA

compressão uniforme



flexão



compressão uniforme



flexão



a) Seção tipo U enrijecido

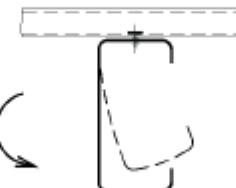
b) Seção tipo rack

c) Seção tipo Z enrijecido

flexão



d) Seção cartola com enrijecedores de borda comprimidos



e) Mesa tracionada conectada a painel e mesa comprimida livre

FLAMBAGEM DISTORCIONAL NA COMPRESSÃO

Valores mínimos de D/b_w para dispensar verificação de flambagem distorcional

b_f/b_w	b_w/t				
	250	200	125	100	50
0,4	0,02	0,03	0,04	0,04	0,08
0,6	0,03	0,04	0,06	0,06	0,15
0,8	0,05	0,06	0,08	0,10	0,22
1,0	0,06	0,07	0,10	0,12	0,27
1,2	0,06	0,07	0,12	0,15	0,27
1,4	0,06	0,08	0,12	0,15	0,27
1,6	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
1,8	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
2,0	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27

NOTA 1 b_f , b_w , e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas Figuras da Tabela 9.

NOTA 2 Para valores intermediários, interpolar linearmente.

FLAMBAGEM DISTORCIONAL NA COMPRESSÃO

N_{dist} = Força de Flambagem axial elástica.

A norma de 2001 permitia um método analítico para realizar essa verificação. A norma de 2010 permite somente o cálculo efetuado pela análise de estabilidade elástica. Essa análise somente é viável se feita com softwares baseados no Método das Faixas Finitas

Para os perfis da NBR 6355/2003 existe uma tabela para download com os valores de N_{dist} já calculados na página dessa aula

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{A \cdot F_y}{N_{dist}}}$$

$$\chi_{dist} = 1 \text{ para } \lambda_{dist} \leq 0,561$$

$$\chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,25}{\lambda^{1,2}} \right) \cdot \frac{1}{\lambda^{1,2}} \text{ para } \lambda_{dist} > 0,561$$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi_{dist} \cdot A \cdot F_y}{1,2}$$

FLAMBAGEM DISTORCIONAL NA FLEXÃO

Valores mínimos de D/b_w para dispensar verificação de flambagem distorcional

b_f/b_w	b_w/t				
	250	200	125	100	50
0,4	0,05	0,06	0,10	0,12	0,25
0,6	0,05	0,06	0,10	0,12	0,25
0,8	0,05	0,06	0,09	0,12	0,22
1,0	0,05	0,06	0,09	0,11	0,22
1,2	0,05	0,06	0,09	0,11	0,20
1,4	0,05	0,06	0,09	0,10	0,20
1,6	0,05	0,06	0,09	0,10	0,20
1,8	0,05	0,06	0,09	0,10	0,19
2,0	0,05	0,06	0,09	0,10	0,19

NOTA 1 b_f , b_w , e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas figuras da Tabela 9.

NOTA 2 Para valores intermediários, interpolar linearmente.

FLAMBAGEM DISTORCIONAL NA FLEXÃO

M_{dist} = Momento Fletor de Flambagem axial elástica.

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_{dist}}}$$

$\chi_{dist} = 1$ para $\lambda_{dist} \leq 0,673$

$$\chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{dist}}\right) \cdot \frac{1}{\lambda_{dist}} \text{ para } \lambda_{dist} > 0,673$$

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{dist} \cdot W \cdot F_y}{1,1}$$

EXERCÍCIOS

1) Determinar se o Perfil Ue 200X75X25X3,00 com $L_x = 500\text{cm}$, $L_y = 250\text{cm}$ e $L_b = 250\text{cm}$ suporta o esforço de compressão axial de 42kN combinado ao momento fletor em relação ao eixo X-X de 800kN.cm – ADOTAR AÇO ABNT CF26

CameliaX

Projet ?

Type de profil

Profil type comière

Profil type U

Profil type Cé

Profil type Sigma

Profil type Zed

Données

$h = 200 \text{ mm}$

$t = 3 \text{ mm}$

$re = 6 \text{ mm}$

$b_1 = 75 \text{ mm}$

$c_1 = 25 \text{ mm}$

$b_2 = 75 \text{ mm}$

$c_2 = 25 \text{ mm}$

Galvanisation : Noir

Section : Section globale

Référence du projet : Ue200X75X25X3,00

Exécuter le calcul...

Section en C

- les semelles peuvent être dissymétriques
- les bords tombés peuvent être absents (c_1 et / ou $c_2 = 0$)

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

EXERCÍCIOS

Note de calcul

Fichier

Unités de calcul: cm & degré

Orientation du premier élément $\gamma_0 = -180^\circ$

1	droit	t=0.3	b=1.9	
2	courbe	t=0.3	re=0.6	$\gamma=-90^\circ$
3	droit	t=0.3	b=6.3	
4	courbe	t=0.3	re=0.6	$\gamma=-90^\circ$
5	droit	t=0.3	b=18.8	
6	courbe	t=0.3	re=0.6	$\gamma=-90^\circ$
7	droit	t=0.3	b=6.3	
8	courbe	t=0.3	re=0.6	$\gamma=-90^\circ$
9	droit	t=0.3	b=1.9	

Développée théorique = 38.0274 cm

$A = 11.408 \text{ cm}^2$ $p = 8.955 \text{ Kg/m}$ $J = 0.3422 \text{ cm}^4$

Caractéristiques par rapport aux axes de référence

Coordonnées du centre de gravité : $Y_g = 2.33 \text{ cm}$ $Z_g = 10 \text{ cm}$

Coordonnées du centre de cisaillement : $Y_c = -3.29 \text{ cm}$ $Z_c = 10 \text{ cm}$

$I_y = 694.415 \text{ cm}^4$ $i_y = 7.8019 \text{ cm}$

$v_y = 10 \text{ cm}$ $W_{el,y} = 69.441 \text{ cm}^3$

$I_z = 87.517 \text{ cm}^4$ $i_z = 2.7697 \text{ cm}$

$v_{z,max} = 5.17 \text{ cm}$ $W_{el,z,min} = 16.928 \text{ cm}^3$

$v_{z,min} = 2.33 \text{ cm}$ $W_{el,z,max} = 37.561 \text{ cm}^3$

Moment d'inertie sectoriel = 7288.3568 cm^6

EXERCÍCIOS

Determinar a resistência à compressão (Aula 02)

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20500.694,42}{(500)^2} = 562 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y L_y)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20500.87,52}{(250)^2} = 283,32 \text{ kN}$$

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x^2 + y^2} = \sqrt{7,8^2 + 2,8^2 + 2,33^2 + 10^2} = 13,19 \text{ cm}$$

$$N_{EZ} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{(K_z L_z)^2} + G \cdot I_t}{(r_0)^2} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot 20500.7288,35}{(250)^2} + 7700.0,3422}{(13,19)^2} = 150,76 \text{ kN}$$

EXERCÍCIOS

Determinar a resistência à compressão (Aula 02)

Calcular λ_0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{11,408 \cdot 26}{150,76}} = 1,40$$

Passo 4 – Calcular X

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} \text{ para } \lambda_0 \leq 1,5$$

$$\chi = 0,658^{1,40^2} = 0,4402$$

Passo 5 – Calcular NI

$$\frac{b_f}{b_w} = \frac{75}{200} = 0,375 - \text{devemos interpolar entre } 0,3 \text{ e } 0,4$$

$$kl = 5,55 + (5,73 - 5,55) \cdot \frac{0,4 - 0,375}{0,4 - 0,3} = 5,59$$

$\eta = b_f / b_w$	Caso a	Caso b	Caso c	Caso d
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido, Seção Z enrijecido e Seção cartola	Seção rack	Seção tubular retangular (solda de costura contínua)
0,1	4,25	-	-	-
0,2	4,52	6,04	-	5,67
0,3	4,33	5,73	5,76	5,44
0,4	3,71	5,55	5,61	5,29
0,5	2,88	5,40	5,47	5,16
0,6	2,17	5,26	5,35	5,03
0,7	1,67	5,11	5,23	4,87
0,8	1,32	4,89	5,10	4,66
0,9	1,06	4,56	4,85	4,37
1,0	0,88	4,10	4,56	4,00

NOTA 1 b_f, b_w, b_s e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas Figuras da Tabela 9.

NOTA 2 Para o caso b, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$.

NOTA 3 Para o caso c, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$ e $0,1 \leq b_s/b_w \leq 0,4$.

NOTA 4 Para valores intermediários, interpolar linearmente.

$$N_l = k_l \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1 - \nu^2)(\frac{b_w}{t})^2} \cdot A$$

$$N_l = 5,59 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 20500}{12(1 - 0,3^2)(\frac{20}{0,3})^2} \cdot 11,408 = 265,85 \text{ kN}$$

EXERCÍCIOS

Determinar a resistência à compressão (Aula 02)

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi \cdot A \cdot F_y}{N_l}} = \sqrt{\frac{0,4402 \cdot 11,408 \cdot 26}{265,85}} = 0,70$$

$$A_{ef} = A \text{ para } \lambda_p \leq 0,776$$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,2}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,4402 \cdot 11,408 \cdot 26}{1,2} = 108,80$$

EXERCÍCIOS

Verificar necessidade de dimensionamento à flambagem distorcional

$$\frac{bf}{bw} = \frac{75}{200} = 0,375$$

$$\frac{bw}{t} = \frac{200}{3} = 66,67$$

$$\frac{D}{bw} = \frac{25}{200} = 0,125$$

b_f/b_w	b_w/t				
	250	200	125	100	50
0,4	0,02	0,03	0,04	0,04	0,08
0,6	0,03	0,04	0,06	0,06	0,15
0,8	0,05	0,06	0,08	0,10	0,22
1,0	0,06	0,07	0,10	0,12	0,27
1,2	0,06	0,07	0,12	0,15	0,27
1,4	0,06	0,08	0,12	0,15	0,27
1,6	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
1,8	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
2,0	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27

NOTA 1 b_f , b_w , e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas Figuras da Tabela 9.

NOTA 2 Para valores intermediários, interpolar linearmente.

Por lógica necessita a verificação, nem precisa interpolar

Se estiver na tabela de excel, precisa verificar

EXERCÍCIOS

Verificar necessidade de dimensionamento à flambagem distorcional

N_{dist} = Força de Flambagem axial elástica.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Perfil	NL	MLx	Ndist	Mdistx	Mdisty	MLy
287	Ue150x60x20x3	369,84	8362	480,79	4396	nc	1074
288	Ue150x60x20x3,35	514,04	11534	615,16	5590	nc	1493
289	Ue150x60x20x3,75	717,09	15950	791,95	7160	nc	2086
290	Ue150x60x20x4,25	1038,1	nc	1051,5	9449	nc	3026
291	Ue150x60x20x4,75	1438,7	nc	1358,6	12117	nc	4209
292	Ue200x75x20x2	78,67	2495	153,26	1954	nc	291
293	Ue200x75x20x2,25	111,82	3541	198,14	2513	nc	413
294	Ue200x75x25x2,65	187,37	5908	331,35	4275	nc	692
295	Ue200x75x25x3	271,36	8540	434,37	5573	nc	1004
296	Ue200x75x25x3,35	377,17	11835	553,18	7065	nc	1395
297	Ue200x75x25x3,75	527,14	16491	710,16	9022	nc	1950
298	Ue200x75x25x4,25	764,58	23758	939,43	11866	nc	2834
299	Ue200x75x25x4,75	1063,6	32685	1208,9	15155	nc	3942
300	Ue200x75x30x6,3	2515,7	nc	2478,6	31757	nc	9321
301	Ue200x100x25x2,65	205,11	4832	319,4	3440	nc	929
302	Ue200x100x25x3	297,04	6981	417,29	4477	nc	1348
303	Ue200x100x25x3,35	412,85	9674	530,58	5668	nc	1874
304	Ue200x100x25x3,75	578,02	13475	679,9	7222	nc	2629
305	Ue200x100x25x4,25	839,86	19404	896,06	9474	nc	3819
306	Ue200x100x25x4,75	1168,2	26750	1150,7	12073	nc	5323
307	Ue250x85x25x2	61,33	2480	143,87	2541	nc	264
308	Ue250x85x25x2,25	87,17	3525	185,49	3261	nc	376
309	Ue250x85x25x2,65	142,17	5741	264,86	4623	nc	613

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{A \cdot F_y}{N_{dist}}} = \sqrt{\frac{11,408,26}{434,37}} = 0,82$$

$$\chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,25}{\lambda^{1,2}}\right) \cdot \frac{1}{\lambda^{1,2}} \text{ para } \lambda_{dist} > 0,561$$

$$\chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,25}{0,82^{1,2}}\right) \cdot \frac{1}{0,82^{1,2}} = 0,866$$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi_{dist} \cdot A \cdot F_y}{1,2}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,866 \cdot 11,408,26}{1,2}$$

$$N_{c,Rd} = 214,14$$

Flambagem Global é mais crítica que a flambagem distorcional nesse caso

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

EXERCÍCIOS

Verificar o perfil ao Momento Fletor (Aula 4)

Início do escoamento da Seção Efetiva

$$W_c = \frac{I}{d} \text{ (mesa comprimida)} \longrightarrow M_l = \frac{k_l \cdot \pi^2 \cdot E \cdot W_c}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_l}} \quad \xrightarrow{\hspace{10cm}} \quad W_{ef} = W \cdot \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \cdot \frac{1}{\lambda_p} \text{ para } \lambda_p > 0,673$$
$$W_{ef} = W \text{ para } \lambda_p \leq 0,673$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{ef} \cdot F_y}{1,1}$$

EXERCÍCIOS

Verificar o perfil ao Momento Fletor (Aula 4)

Início do escoamento da Seção Efetiva

$$\mu = \frac{D}{bw} = \frac{25}{200} = 0,125$$

$$\eta = \frac{bf}{bw} = \frac{75}{200} = 0,375$$

$$kl = 24,8 + (29,3 - 24,8) \cdot \frac{0,4 - 0,375}{0,4 - 0,3} = 25,92$$

$$M_l = \frac{k_l \cdot \pi^2 \cdot E \cdot W_c}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2}$$

$$M_l = \frac{25,92 \cdot \pi^2 \cdot 20500 \cdot 69,441}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{200}{3}\right)^2} = 7503,51 \text{ kN.cm}$$

$\eta = b_t / b_w$	Caso a	Caso b			Caso c
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido e Seção Z enrijecido		Seção tubular retangular (solda de costura contínua)	
	$\mu \leq 0,2$	$\mu = 0,25$	$\mu = 0,3$		
0,2	18,4	32,0	25,8	21,2	31,0
0,3	9,6	29,3	23,8	19,7	28,9
0,4	5,6	24,8	20,7	18,2	25,6
0,5	3,6	18,7	17,6	16,0	19,5
0,6	2,6	13,6	13,3	13,0	14,2
0,7	1,9	10,2	10,1	10,1	10,6
0,8	1,5	7,9	7,9	7,9	8,2
0,9	1,2	6,2	6,3	6,3	6,6
1,0	1,0	5,1	5,1	5,1	5,3

NOTA 1 b_t , b_w e D são a largura nominal da mesa, da alma e do enrijecedor de borda, respectivamente.

NOTA 2 $\mu = D/b_w$.

NOTA 3 Para valores intermediários interpolar linearmente.

EXERCÍCIOS

Verificar o perfil ao Momento Fletor (Aula 4)

Início do escoamento da Seção Efetiva

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_l}} \rightarrow \sqrt{\frac{69,441 \cdot 26}{7503,51}} = 0,49$$

$$W_{ef} = W \text{ para } \lambda_p \leq 0,673$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{ef} \cdot F_y}{1,1} \rightarrow \frac{69,441 \cdot 26}{1,1} = 1641,33 \text{ kN.cm}$$

EXERCÍCIOS

Verificar o perfil ao Momento Fletor (Aula 4)

Flambagem Lateral com Torção (FLT)

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x^2 + y^2} = \sqrt{7,8^2 + 2,8^2 + 2,33^2 + 10^2} = 13,19\text{cm}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y L_y)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20500.87,52}{(250)^2} = 283,32 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{(K_z L_z)^2} + G \cdot I_t}{(r_0)^2} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot 20500.7288,35}{(250)^2} + 7700.0,3422}{(13,19)^2} = 150,76 \text{ kN}$$

$$M_e = C_b \cdot r_0 \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{ez}} \rightarrow 1.13,19 \cdot \sqrt{283,32 \cdot 150,76} = 2726 \text{kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_c \cdot F_y}{M_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{69,441.26}{2726}} = 0,81$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

EXERCÍCIOS

Verificar o perfil ao Momento Fletor (Aula 4)

Flambagem Lateral com Torção (FLT)

$$\chi_{FLT}:$$

$\chi_{FLT} = 1,0 \text{ para } \lambda_0 \leq 0,6$

$\chi_{FLT} = 1,1 \cdot (1 - 0,278\lambda_0^2) \text{ para } 0,6 < \lambda_0 < 1,336$

$\chi_{FLT} = \frac{1}{\lambda_0^2} \text{ para } \lambda_0 \geq 1,336$

$\chi_{FLT} = 1,1 \cdot (1 - 0,278 \cdot 0,81^2) = 0,899$

$$M_l = \frac{k_l \cdot \pi^2 \cdot E \cdot W_c}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} \rightarrow M_l = \frac{25,92 \cdot \pi^2 \cdot 20500 \cdot 69,441}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{200}{3}\right)^2} = 7503,51 \text{ kN.cm}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi_{FLT} \cdot W_c \cdot F_y}{M_l}} \rightarrow \lambda_p = \sqrt{\frac{0,899 \cdot 69,441 \cdot 26}{7503,51}} = 0,46$$

$$W_{c,ef} = W_c \text{ para } \lambda_p \leq 0,673 \quad M_{Rd} = \frac{\chi_{FLT} W_{c,ef} \cdot F_y}{1,1} \rightarrow \frac{0,899 \cdot 69,441 \cdot 26}{1,1} = 1475,56 \text{ cm}$$

EXERCÍCIOS

Verificar o perfil ao Momento Fletor (Aula 4)

Verificação da Flambagem Distorcional

	A	B	C	D	E	F	G
1	Perfil	NL	MLx	Ndist	Mdistx	Mdisty	MLy
287	Ue150x60x20x3	369,84	8362	480,79	4396	nc	1074
288	Ue150x60x20x3,35	514,04	11534	615,16	5590	nc	1493
289	Ue150x60x20x3,75	717,09	15950	791,95	7160	nc	2086
290	Ue150x60x20x4,25	1038,1	nc	1051,5	9449	nc	3026
291	Ue150x60x20x4,75	1438,7	nc	1358,6	12117	nc	4209
292	Ue200x75x20x2	78,67	2495	153,26	1954	nc	291
293	Ue200x75x20x2,25	111,82	3541	198,14	2513	nc	413
294	Ue200x75x25x2,65	187,37	5908	331,35	4275	nc	692
295	Ue200x75x25x3	271,36	8540	434,37	5573	nc	1004
296	Ue200x75x25x3,35	377,17	11835	553,18	7065	nc	1395
297	Ue200x75x25x3,75	527,14	16491	710,16	9022	nc	1950
298	Ue200x75x25x4,25	764,58	23758	939,43	11866	nc	2834
299	Ue200x75x25x4,75	1063,6	32685	1208,9	15155	nc	3942
300	Ue200x75x30x6,3	2515,7	nc	2478,6	31757	nc	9321
301	Ue200x100x25x2,65	205,11	4832	319,4	3440	nc	929
302	Ue200x100x25x3	297,04	6981	417,29	4477	nc	1348
303	Ue200x100x25x3,35	412,85	9674	530,58	5668	nc	1874
304	Ue200x100x25x3,75	578,02	13475	679,9	7222	nc	2629
305	Ue200x100x25x4,25	839,86	19404	896,06	9474	nc	3819
306	Ue200x100x25x4,75	1168,2	26750	1150,7	12073	nc	5323
307	Ue250x85x25x2	61,33	2480	143,87	2541	nc	264
308	Ue250x85x25x2,25	87,17	3525	185,49	3261	nc	376
309	Ue250x85x25x2,65	142,17	5741	264,86	4623	nc	613

$$M_{dist} = 5573 \text{ kN.cm}$$

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_{dist}}} = \sqrt{\frac{69,441.26}{5573}} = 0,56$$

$$\chi_{dist} = 1 \text{ para } \lambda_{dist} \leq 0,673$$

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{dist} \cdot W \cdot F_y}{1,1}$$

$$M_{Rd} = \frac{1.69,441.26}{1,1} = 1641,33$$

FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇAO É MAIS CRÍTICA NESSE CASO

EXERCÍCIOS

Verificar o perfil à Flexo-Compressão

A força normal solicitante de cálculo e os momentos fletores solicitantes de cálculo devem satisfazer a expressão de interação indicada a seguir:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{42}{108,8} + \frac{800}{1475,56} = 0,928$$

OK – PERFIL APROVADO