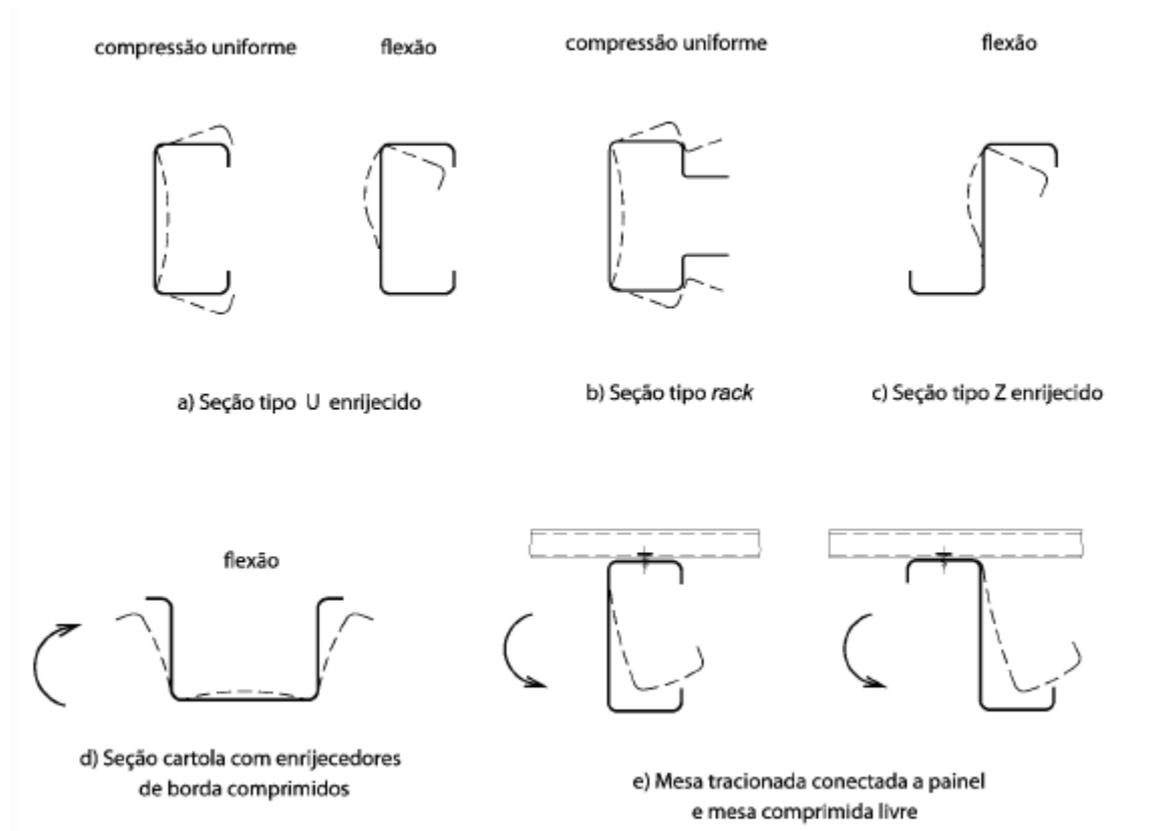


Dimensionamento de Perfis Formados a Frio Aula 05

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

MÉTODO DAS SEÇÕES EFETIVAS: DISTORÇÃO DA SEÇÃO EFETIVA



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

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

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

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

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

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.*

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

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

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

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

EXERCÍCIOS

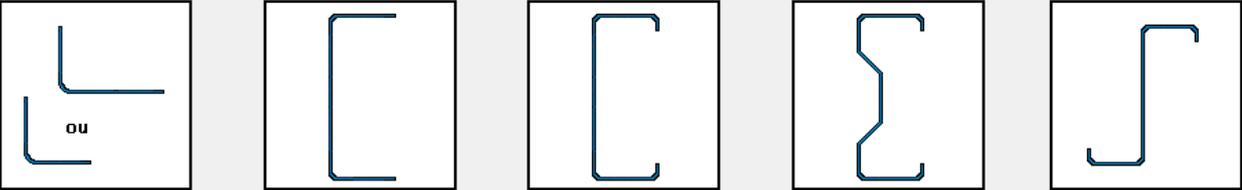
1) Determinar se o Perfil Ue 200X75X25X3,00 com $L_x = 500\text{cm}$, $L_y = 250\text{cm}$ e $L_b = 250\text{cm}$ suporta o esforço de compressão axial de 42kN combinado ao momento fletor em relação ao eixo X-X de 800kN.cm – ADOTAR AÇO ABNT CF26

CameliaX

Projet ?

Type de profil

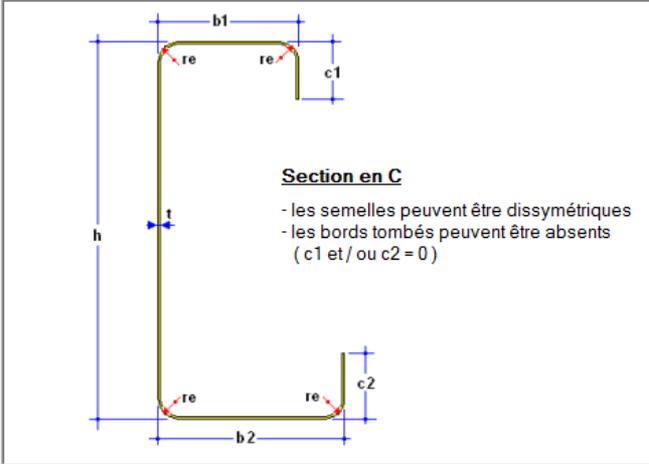
Profil type cornière Profil type U Profil type Cé Profil type Sigma Profil type Zed



Données

h = mm
t = mm
re = mm
b1 = mm
c1 = mm
b2 = mm
c2 = mm

Galvanisation :
Section :



Section en C

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

Référence du projet :

Exécuter le calcul...

EXERCÍCIOS

Note de calcul

Fichier

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

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 cm⁶

EXERCÍCIOS

Determinar a resistência à compressão (Aula 02)

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 694,42}{(500)^2} = 562 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y L_y)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 87,52}{(250)^2} = 283,32 \text{ kN}$$

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

$$N_{Ez} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{(K_z L_z)^2} + G \cdot I_t}{(r_0)^2} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 7288,35}{(250)^2} + 7700 \cdot 0,3422}{(13,19)^2} = 150,76 \text{ kN}$$

EXERCÍCIOS

Determinar a resistência à compressão (Aula 02)

Calcular λ_0

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

Passo 4 – Calcular χ

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

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

Passo 5 – Calcular N_l

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

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

$\eta = b_f / b_w$	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.

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

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

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_w/t				
b_f/b_w	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.

A295		f* Ue200x75x25x3					
	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

EXERCÍCIOS

Verificar o perfil ao Momento Fletor (Aula 4)

Início do escoamento da Seção Efetiva

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

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{W \cdot F_y}{M_l}}$$

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

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

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

EXERCÍCIOS

Verificar o perfil ao Momento Fletor (Aula 4)

Início do escoamento da Seção Efetiva

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

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

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

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

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

$\eta = b_f / b_w$	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	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_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.

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)

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

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y L_y)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 87,52}{(250)^2} = 283,32 \text{ kN}$$

$$N_{Ez} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{(K_z L_z)^2} + G \cdot I_t}{(r_0)^2} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 7288,35}{(250)^2} + 7700 \cdot 0,3422}{(13,19)^2} = 150,76 \text{ kN}$$

$$M_e = C_b \cdot r_0 \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{ez}} \rightarrow 1 \cdot 13,19 \cdot \sqrt{283,32 \cdot 150,76} = 2726 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_c \cdot F_y}{M_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{69,441 \cdot 26}{2726}} = 0,81$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

EXERCÍCIOS

Verificar o perfil ao Momento Fletor (Aula 4)

Flambagem Lateral com Torção (FLT)

$$\chi_{FLT} : \begin{cases} \chi_{FLT} = 1,0 \text{ para } \lambda_0 \leq 0,6 \\ \chi_{FLT} = 1,1 \cdot (1 - 0,278\lambda_0^2) \text{ para } 0,6 < \lambda_0 < 1,336 \\ \chi_{FLT} = \frac{1}{\lambda_0^2} \text{ para } \lambda_0 \geq 1,336 \end{cases}$$
$$\chi_{FLT} = 1,1 \cdot (1 - 0,278 \cdot 0,81^2) = 0,899$$

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

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

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

EXERCÍCIOS

Verificar o perfil ao Momento Fletor (Aula 4)

Verificação da Flambagem Distorcional

A295		f* Ue200x75x25x3					
	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

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

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

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

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

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

FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO 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