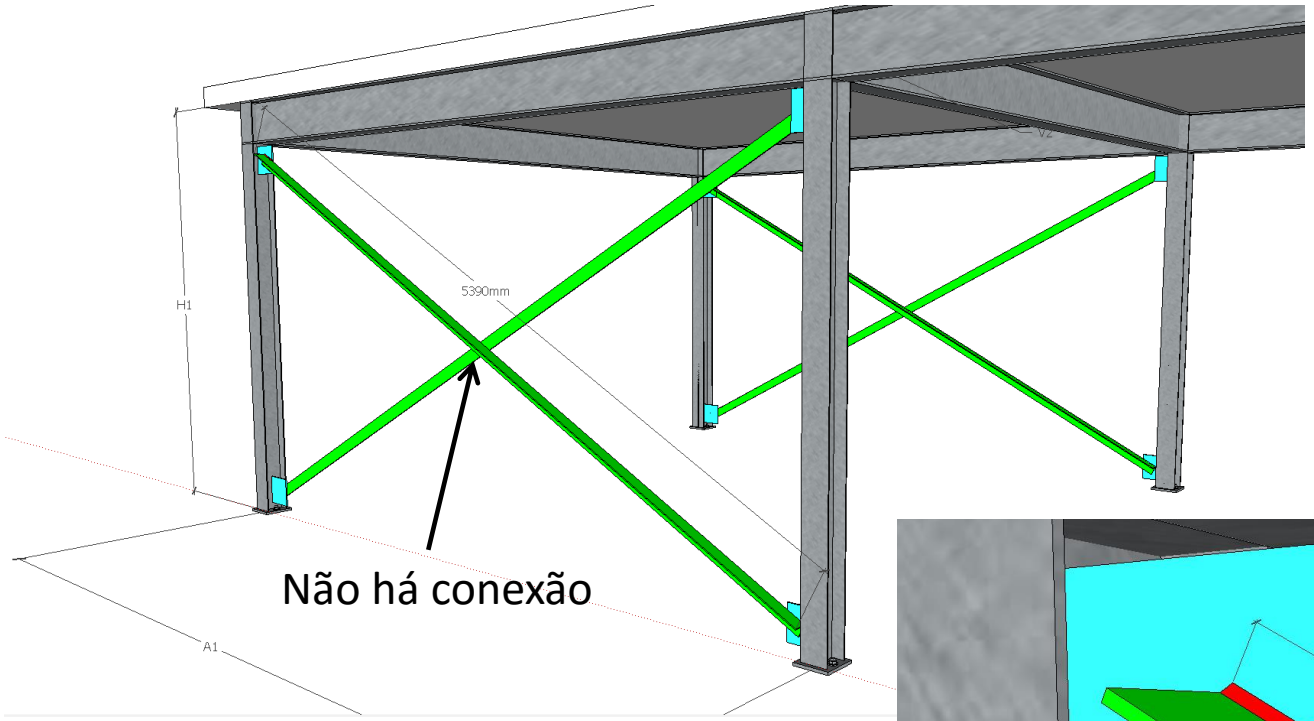
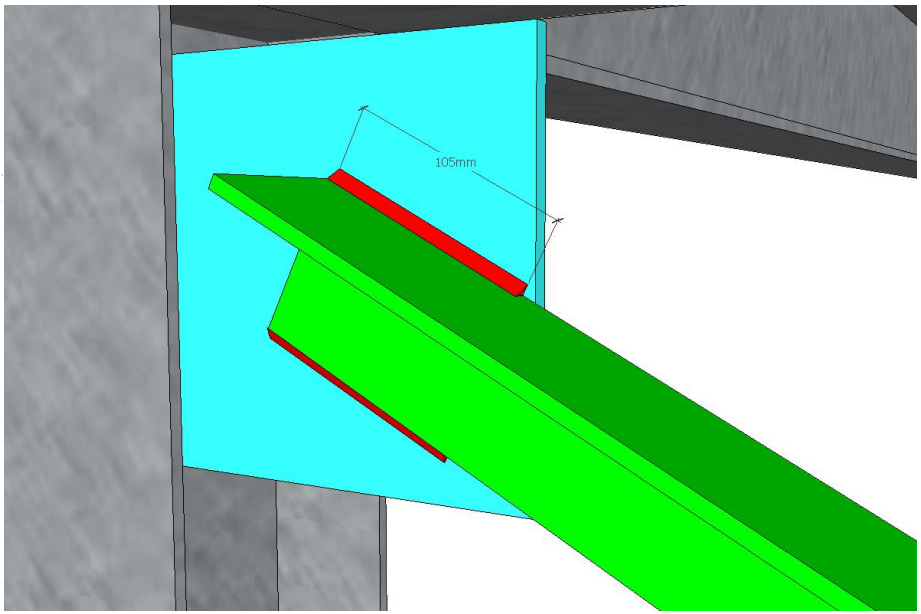
LISTA DE EXERCÍCIOS TRAÇÃO E COMPRESSÃO

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exercício 01 - **Considere a cantoneira de abas iguais L3'' X ¼'' ASTM A36 da figura.**





Determine a máxima tração admissível para a cantoneira

RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{L}{r} \leq 300$$

$$\lambda = \frac{L}{r} = \frac{539}{2{,}36} = 228{,}38 \; OK$$

Passo 2 – Verificar Escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g . F_y}{1{,}1} = \frac{9{,}29.25}{1{,}1} = 211{,}14 \; kN$$

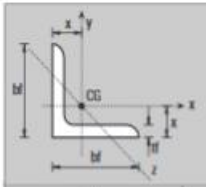


Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais

Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f		$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	$r_x = r_y$	$r_{z\,min}$	x
pol	cm	kg/m	cm²	pol	cm	cm⁴	cm³	cm	cm	cm
1/2"	1,270	0,55	0,70	1/8"	0,317	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,588	0,71	0,90	1/8"	0,317	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,905	0,87	1,11	1/8"	0,317	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,220	1,04	1,32	1/8"	0,317	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,49	1,90	3/16"	0,476	0,79	0,54	0,66	0,48	0,74
1"	2,540	1,19	1,48	1/8"	0,317	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	2,19	3/16"	0,476	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	2,84	1/4"	0,635	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1 1/4"	3,175	1,50	1,93	1/8"	0,317	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	2,77	3/16"	0,476	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	3,62	1/4"	0,635	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1 1/2"	3,810	1,83	2,32	1/8"	0,317	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3,42	3/16"	0,476	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	4,45	1/4"	0,635	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
1 3/4"	4,445	2,14	2,71	1/8"	0,317	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	4,00	3/16"	0,476	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	5,22	1/4"	0,635	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		5,04	6,45	5/16"	0,794	11,20	3,77	1,32	0,86	1,41
2"	5,080	2,46	3,10	1/8"	0,317	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	4,58	3/16"	0,476	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	6,06	1/4"	0,635	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	7,42	5/16"	0,794	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	8,76	3/8"	0,952	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
2 1/2"	6,350	4,57	5,80	3/16"	0,476	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	7,67	1/4"	0,635	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	9,48	5/16"	0,794	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	11,16	3/8"	0,952	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
3"	7,620	5,52	7,03	3/16"	0,476	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	9,29	1/4"	0,635	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	11,48	5/16"	0,794	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	13,61	3/8"	0,952	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		12,34	15,67	7/16"	1,111	83,00	15,60	2,31	1,47	2,31
		14,00	17,74	1/2"	1,270	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
4"	10,160	9,81	12,51	1/4"	0,635	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	15,48	5/16"	0,794	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	18,45	3/8"	0,952	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	21,35	7/16"	1,111	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	24,19	1/2"	1,270	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
		21,26	26,96	9/16"	1,429	254,00	36,10	3,07	1,98	3,07
		23,35	29,73	5/8"	1,588	279,00	39,40	3,05	1,96	3,12
5"	12,700	18,30	23,29	3/8"	0,952	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	30,64	1/2"	1,270	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	37,8	5/8"	1,588	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		35,10	44,76	3/4"	1,905	653,00	73,80	3,81	2,46	3,86
6"	15,240	22,22	28,12	3/8"	0,952	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	37,09	1/2"	1,270	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	45,86	5/8"	1,588	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	54,44	3/4"	1,905	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
		49,30	62,76	7/8"	2,222	1.327,00	124,60	4,60	2,97	4,62

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Verificar Ruptura da seção líquida

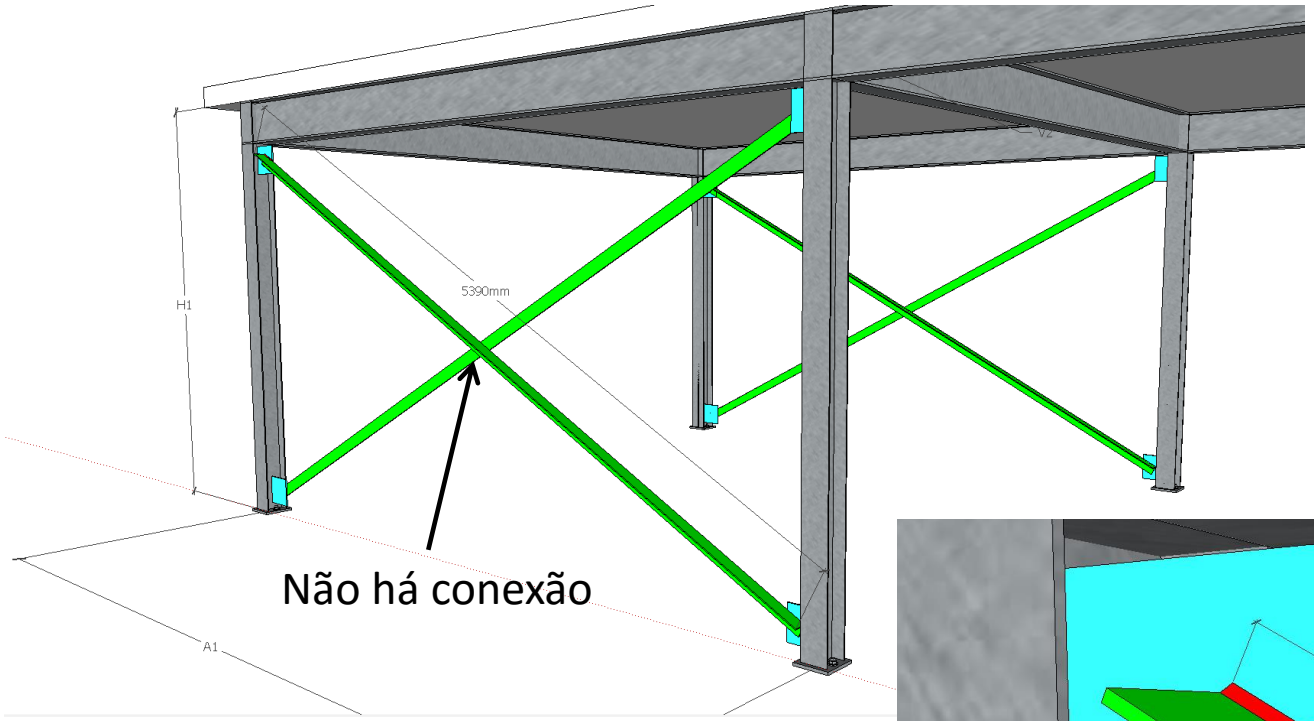
$$N_{t,Rd} = \frac{Ct.A_n.F_u}{1{,}35}$$

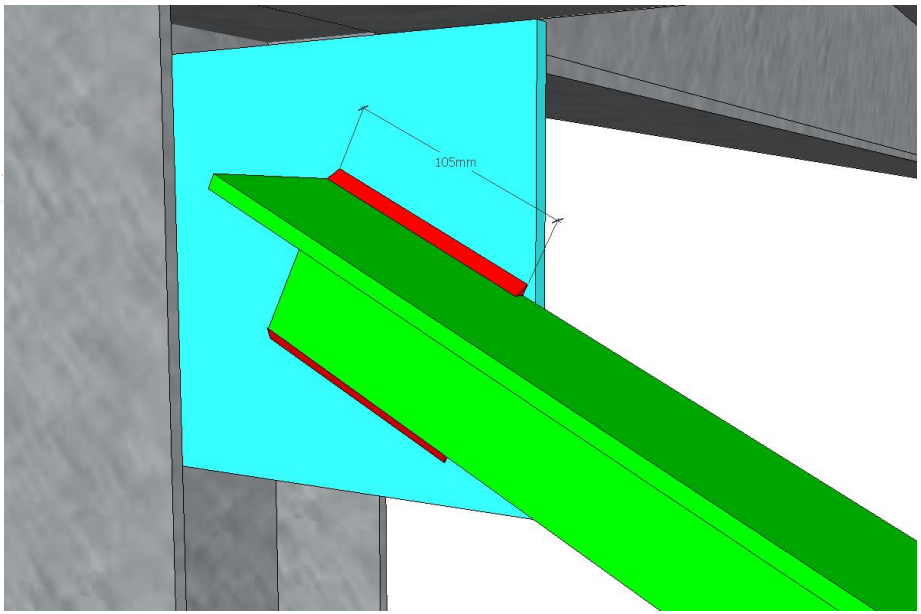
$$Ct = 1 - \frac{e_c}{l_c} \rightarrow \qquad Ct = 1 - \frac{2{,}13}{10{,}5} \rightarrow \qquad Ct = 0{,}797$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0{,}797.9{,}29.40}{1{,}35} = 219{,}42\ kN$$

CONCLUSÃO: A carga axial solicitante de tração que a peça pode ser submetida é 211,14kN correspondente ao Estado Limite Escoamento da Seção Bruta

Exercício 02 - **Considere a cantoneira de abas iguais L3'' X ¼'' ASTM A36 da figura.**





Determine a máxima compressão admissível da cantoneira

RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{k.L}{r} \leq 200$$

$$\lambda = \frac{k.L}{r} = \frac{0{,}5.539}{2{,}36} = 114{,}19 \; OK$$

$$a\ meta\ é\ preencher\colon\ N_{c,Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1}$$

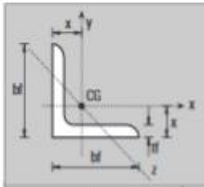


Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais

Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f		$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	$r_x = r_y$	$r_{z\,min}$	x
pol	cm	kg/m	cm²	pol	cm	cm⁴	cm³	cm	cm	cm
1/2"	1,270	0,55	0,70	1/8"	0,317	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,588	0,71	0,90	1/8"	0,317	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,905	0,87	1,11	1/8"	0,317	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,220	1,04	1,32	1/8"	0,317	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,49	1,90	3/16"	0,476	0,79	0,54	0,66	0,48	0,74
1"	2,540	1,19	1,48	1/8"	0,317	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	2,19	3/16"	0,476	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	2,84	1/4"	0,635	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1 1/4"	3,175	1,50	1,93	1/8"	0,317	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	2,77	3/16"	0,476	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	3,62	1/4"	0,635	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1 1/2"	3,810	1,83	2,32	1/8"	0,317	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3,42	3/16"	0,476	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	4,45	1/4"	0,635	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
1 3/4"	4,445	2,14	2,71	1/8"	0,317	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	4,00	3/16"	0,476	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	5,22	1/4"	0,635	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		5,04	6,45	5/16"	0,794	11,20	3,77	1,32	0,86	1,41
2"	5,080	2,46	3,10	1/8"	0,317	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	4,58	3/16"	0,476	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	6,06	1/4"	0,635	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	7,42	5/16"	0,794	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	8,76	3/8"	0,952	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
2 1/2"	6,350	4,57	5,80	3/16"	0,476	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	7,67	1/4"	0,635	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	9,48	5/16"	0,794	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	11,16	3/8"	0,952	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
3"	7,620	5,52	7,03	3/16"	0,476	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	9,29	1/4"	0,635	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	11,48	5/16"	0,794	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	13,61	3/8"	0,952	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		12,34	15,67	7/16"	1,111	83,00	15,60	2,31	1,47	2,31
		14,00	17,74	1/2"	1,270	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
4"	10,160	9,81	12,51	1/4"	0,635	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	15,48	5/16"	0,794	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	18,45	3/8"	0,952	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	21,35	7/16"	1,111	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	24,19	1/2"	1,270	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
		21,26	26,96	9/16"	1,429	254,00	36,10	3,07	1,98	3,07
		23,35	29,73	5/8"	1,588	279,00	39,40	3,05	1,96	3,12
5"	12,700	18,30	23,29	3/8"	0,952	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	30,64	1/2"	1,270	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	37,8	5/8"	1,588	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		35,10	44,76	3/4"	1,905	653,00	73,80	3,81	2,46	3,86
6"	15,240	22,22	28,12	3/8"	0,952	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	37,09	1/2"	1,270	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	45,86	5/8"	1,588	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	54,44	3/4"	1,905	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
		49,30	62,76	7/8"	2,222	1.327,00	124,60	4,60	2,97	4,62

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

Perfil composto apenas por elementos AL

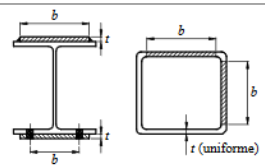
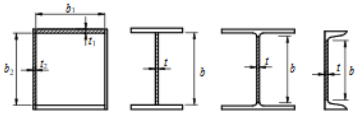
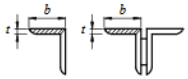
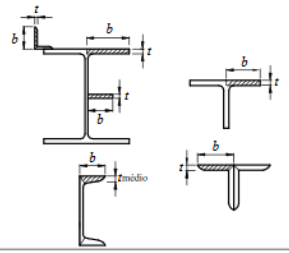
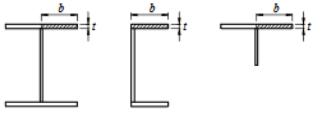
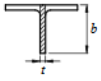
$$\frac{b}{t} \leq 0{,}45\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow 0{,}45\sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 12{,}88$$

$$\frac{b}{t} = \frac{76{,}2}{6{,}35} = 12{,}00$$

Qs = 1,00

Portanto Q = 1,00

Tabela F.1 — Valores de $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	— Mesas ou almas de seções tubulares retangulares — Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1{,}40\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	— Almas de seções I, H ou U — Mesas ou almas de seção-caixão — Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1{,}49\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travejamento		$0{,}45\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	— Mesas de seções I, H, T ou U laminadas — Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas — Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0{,}56\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	— Mesas de seções I, H, T ou U soldadas [a]		$0{,}64\sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	— Almas de seções T		$0{,}75\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

[a] O coeficiente k_c é dado em F.2.

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar carga crítica de flambagem elástica

$$\frac{L_{x1}}{r_{x1}} = \frac{539}{2{,}36} = 228{,}38 > 80$$

$$K_{x1}L_{x1} = 32.L_{rx1} + 1{,}25.L_{x1} = 749{,}27$$

$$Ne_x = \frac{\pi^2.E.I_x}{(K_{x1}.L_{x1})^2}$$

$$Ne_x = \frac{\pi^2.20500.50}{(749{,}27)^2} = 18{,}01\ kN$$

E.1.4 Cantoneiras simples conectadas por uma aba

E.1.4.1 Os efeitos da excentricidade da força de compressão atuante em uma cantoneira simples podem ser considerados por meio de um comprimento de flambagem equivalente, desde que essa cantoneira:

a) seja carregada nas extremidades através da mesma aba;

b) seja conectada por solda ou por pelo menos dois parafusos na direção da solicitação;

c) não esteja solicitada por ações transversais intermediárias.

Nesse caso, a força axial de flambagem elástica da cantoneira, N_e, é dada por:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_{x1}}{(K_{x1} L_{x1})^2}$$

onde:

I_{x1} é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo que passa pelo centro geométrico e é paralelo à aba conectada;

$K_{x1} L_{x1}$ é o comprimento de flambagem equivalente, dado em E.1.4.2 ou E.1.4.3, o que for aplicável.

E.1.4.2 Para cantoneiras de abas iguais ou de abas desiguais conectadas pela aba de maior largura, que são barras individuais ou diagonais ou montantes de treliças planas com as barras adjacentes conectadas do mesmo lado das chapas de nó ou das cordas (ver 5.3.4.1):

a) quando $0 \le \frac{L_{x1}}{r_{x1}} \le 80$: $K_{x1} L_{x1} = 72\ r_{x1} + 0{,}75\ L_{x1}$

b) quando $\frac{L_{x1}}{r_{x1}} > 80$: $K_{x1} L_{x1} = 32\ r_{x1} + 1{,}25\ L_{x1}$

onde:

L_{x1} é o comprimento da cantoneira, tomado entre os pontos de trabalho situados nos eixos longitudinais das cordas da treliça;

r_{x1} é o raio de giração da seção transversal em relação ao eixo que passa pelo centro geométrico e é paralelo à aba conectada.

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q.A_g.F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1{,}0\ .\ 9{,}29.25}{18{,}01}} = 3{,}58$$

5.3.3 Fator de redução χ

5.3.3.1 O fator de redução associado à resistência à compressão, χ, é dado por:

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

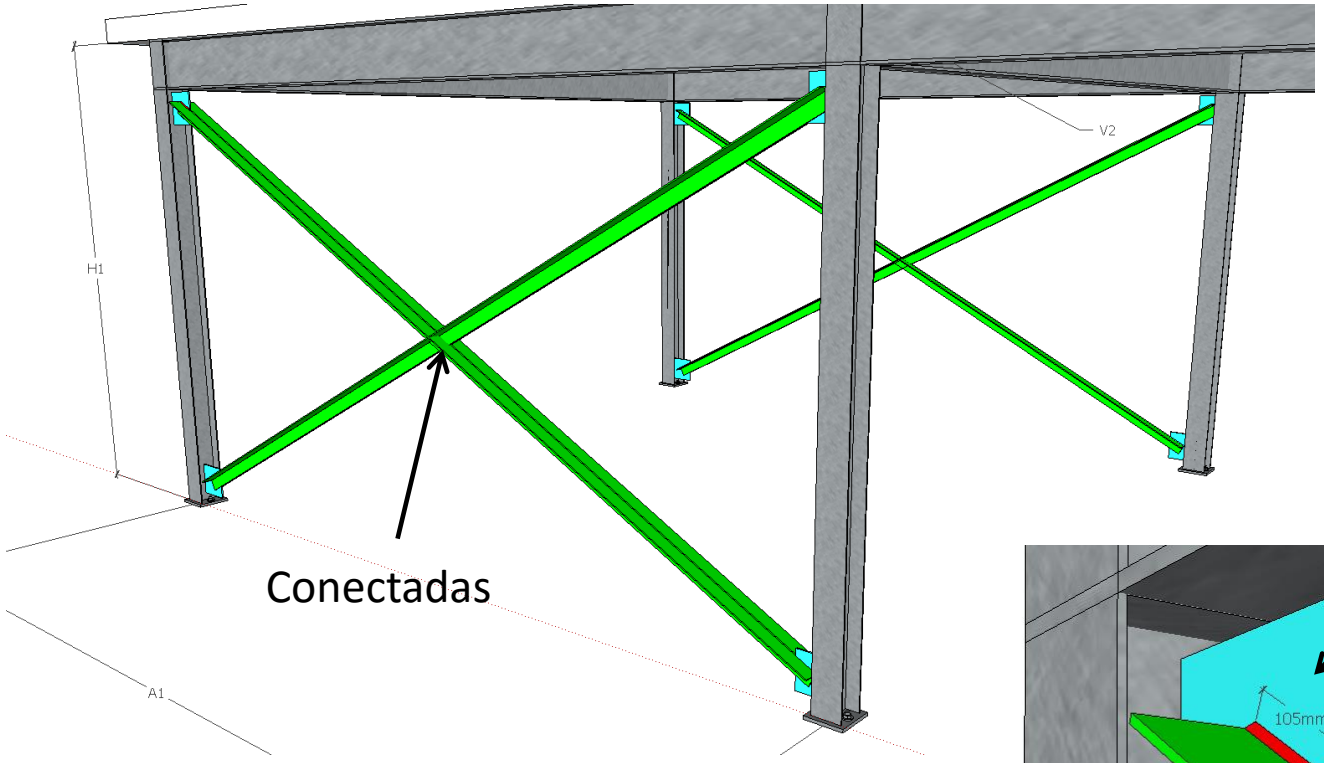
- para $\lambda_0 > 1{,}5$: $\chi = \frac{0{,}877}{\lambda_0^2}$

$$\chi = \frac{0{,}877}{(\lambda_0)^2} = 0{,}0684$$

Passo 4 – Preencher a fórmula:

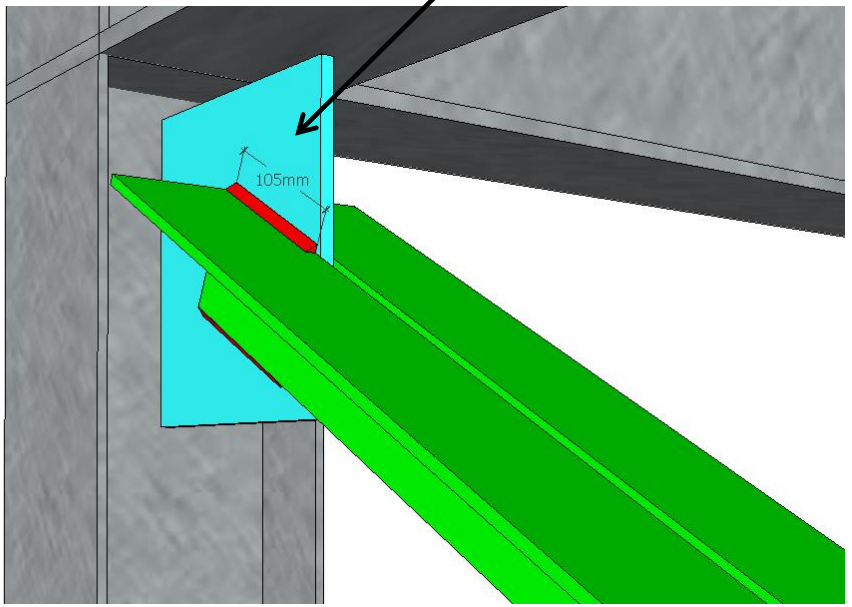
$$N_{c,Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1} = \frac{0{,}0684\ .\ 1\ .\ 9{,}29\ .25}{1{,}1} = 14{,}44\ kN$$

Exercício 03 - **Considere a cantoneira dupla de abas iguais 2L3'' X ¼'' ASTM A36 da figura.**



Conectadas

Chapa #8mm ~ 5/16''



Determine tração máxima à qual a dupla cantoneira pode ser submetida

L = 539cm

RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{L}{r} \leq 300$$

$$\lambda_x = \frac{Lx}{rx} = \frac{269{,}5}{2{,}36} = 114{,}19\ OK$$

$$\lambda_y = \frac{Ly}{ry} = \frac{539}{3{,}73} = 144{,}50\ OK$$

Passo 2 – Verificar Escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g . F_y}{1{,}1} = \frac{18{,}58.25}{1{,}1} = 422{,}27\ kN$$

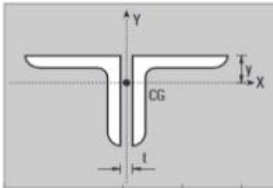


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais

Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					I	W	r	y	t						
pol	cm	kg/m	cm²	pol	cm⁴	cm³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,98	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1, 27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,190
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	140,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm²	pol	cm⁴	cm³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Verificar Ruptura da seção líquida

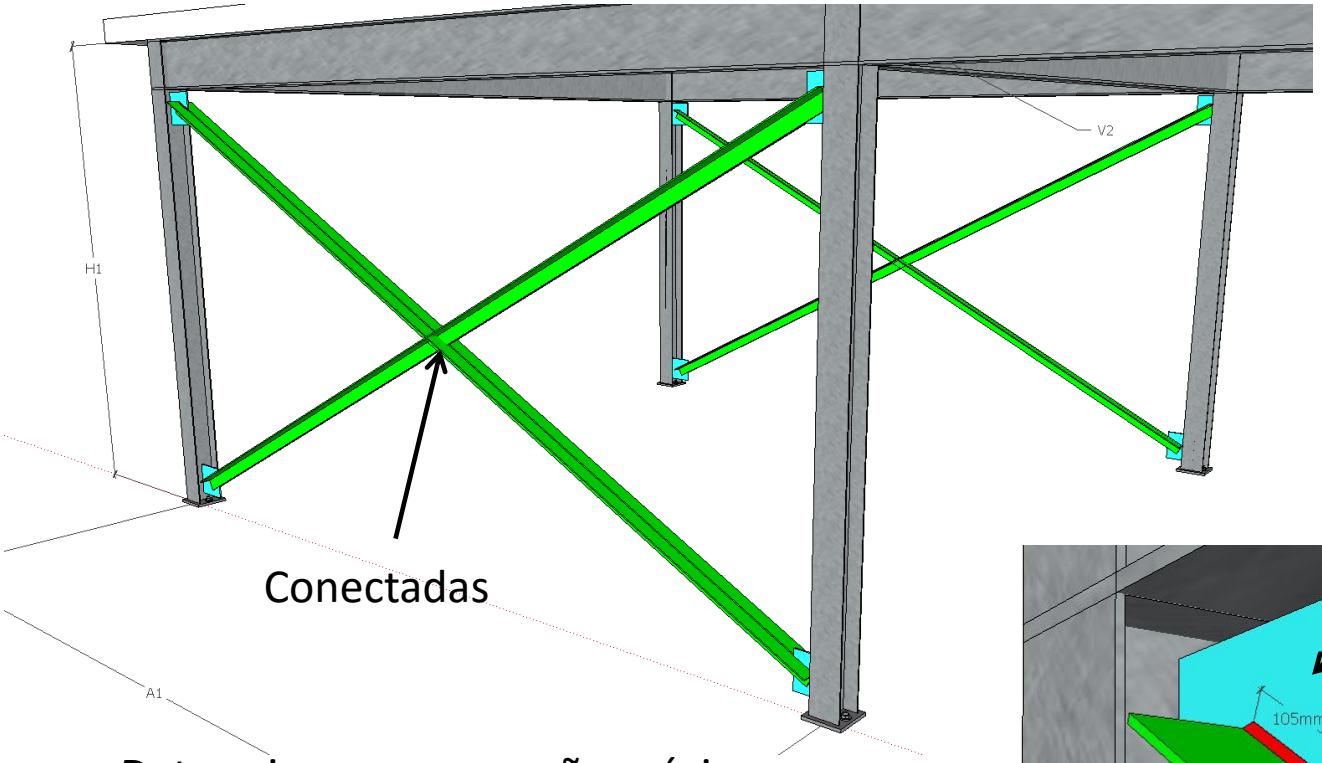
$$N_{t,Rd} = \frac{Ct.A_n.F_u}{1{,}35}$$

$$Ct = 1 - \frac{e_c}{l_c} \rightarrow \qquad Ct = 1 - \frac{2{,}13}{10{,}5} \rightarrow \qquad Ct = 0{,}797$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0{,}797.18{,}58.40}{1{,}35} = 438{,}76\ kN$$

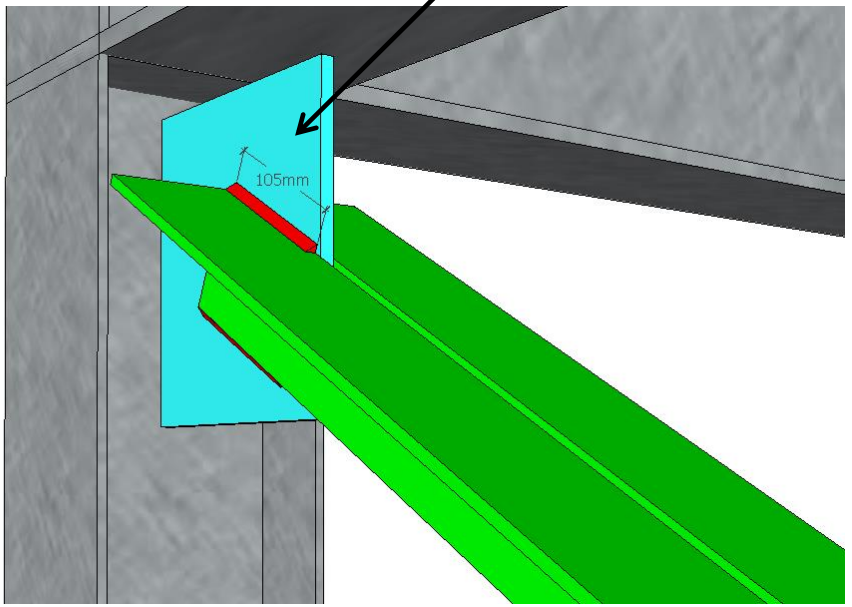
CONCLUSÃO: A carga axial solicitante de tração que a peça pode ser submetida é 422,27kN correspondente ao Estado Limite Escoamento da Seção Bruta

Exercício 04 - **Considere a cantoneira dupla de abas iguais 2L3'' X ¼'' ASTM A36 da figura.**



Conectadas

Chapa #8mm ~ 5/16''



Determine a compressão máxima a qual a dupla cantoneira pode ser submetida.
Determine a distância máxima entre duas chapas espaçadoras consecutivas

L = 539cm

RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{k.L}{r} \leq 200$$

$$\lambda x = \frac{kx.Lx}{rx} = \frac{0{,}5.269{,}5}{2{,}36} = 57{,}09\ OK$$

$$\lambda y = \frac{ky.Ly}{ry} = \frac{0{,}5.539}{3{,}73} = 72{,}25\ OK$$

a meta é preencher: $N_{c,Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1}$

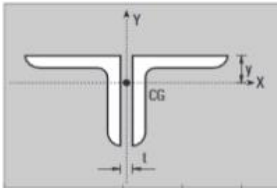


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais

Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					I	W	r	y	t						
pol	cm	kg/m	cm²	pol	cm⁴	cm³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,98	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1, 27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,190
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	140,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm²	pol	cm⁴	cm³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

Perfil composto apenas por elementos AL

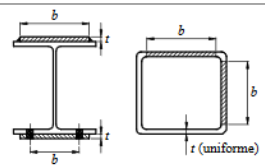
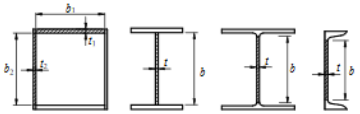
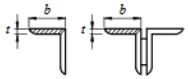
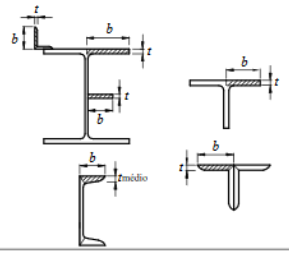
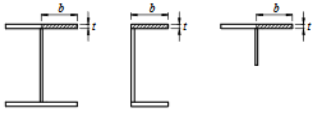
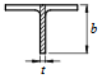
$$\frac{b}{t} \leq 0{,}45\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow 0{,}45\sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 12{,}88$$

$$\frac{b}{t} = \frac{76{,}2}{6{,}35} = 12{,}00$$

Qs = 1,00

Portanto Q = 1,00

Tabela F.1 — Valores de $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	— Mesas ou almas de seções tubulares retangulares — Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1{,}40\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	— Almas de seções I, H ou U — Mesas ou almas de seção-caixão — Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1{,}49\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travejamento		$0{,}45\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	— Mesas de seções I, H, T ou U laminadas — Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas — Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0{,}56\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	— Mesas de seções I, H, T ou U soldadas [a]		$0{,}64\sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	— Almas de seções T		$0{,}75\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

[a] O coeficiente k_c é dado em F.2.

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar carga crítica de flambagem elástica

$$Ne_x = \frac{\pi^2 . E . I_x}{(K_x . L_x)^2} \qquad Ne_x = \frac{\pi^2 . 20500.100}{(0{,}5\ .\ 269{,}5)^2} = 1114{,}28\ kN$$

$$ry = \sqrt{\frac{Iy}{A}} \rightarrow Iy = ry^2 . A = 3{,}73^2\ .\ 18{,}58 = 258{,}5 cm^4$$

$$Ne_y = \frac{\pi^2 . E . I_y}{(K_y . L_y)^2} \qquad Ne_y = \frac{\pi^2 . 20500.258{,}5}{(0{,}5\ .\ 539)^2} = 720{,}10\ kN$$

Carga crítica de flambagem por torção pode ser desconsiderada para este caso

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q.A_g.F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1{,}0\ .\ 18{,}58.25}{720{,}10}} = 0{,}80$$

5.3.3 Fator de redução χ

5.3.3.1 O fator de redução associado à resistência à compressão, χ, é dado por:

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

- para $\lambda_0 > 1{,}5$: $\chi = \frac{0{,}877}{\lambda_0^2}$

$$\chi = 0{,}658^{\lambda^2} = 0{,}658^{0{,}80^2} = 0{,}765$$

Passo 4 – Preencher a fórmula:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1} = \frac{0{,}765\ .\ 1\ .\ 18{,}58\ .25}{1{,}1} = 323\ kN$$

RESOLUÇÃO:

Passo 4 – Determinar a distância máxima entre duas chapas espaçadoras consecutivas

5.3.4 Limitação do índice de esbeltez

5.3.4.1 O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como a maior relação entre o produto KL e o raio de giração correspondente r, portanto KL/r, onde K é o coeficiente de flambagem fornecido por E.2.1.1, E.2.1.2 ou E.2.1.3, o que for aplicável, e L é o comprimento destravado, não deve ser superior a 200.

5.3.4.2 Barras compostas, formadas por dois ou mais perfis trabalhando em conjunto, em contato ou com afastamento igual à espessura de chapas espaçadoras, devem possuir ligações entre esses perfis a intervalos tais que o índice de esbeltez ℓ / r de qualquer perfil, entre duas ligações adjacentes, não seja superior a 1/2 do índice de esbeltez da barra composta (KL/r), onde K é fornecido por E.2.1.1, E.2.1.2 ou E.2.1.3, o que for aplicável, conforme ilustra a Figura 12. Para cada perfil componente, o índice de esbeltez deve ser calculado com o seu raio de giração mínimo. Adicionalmente, pelo menos duas chapas espaçadoras devem ser colocadas ao longo do comprimento, uniformemente espaçadas.

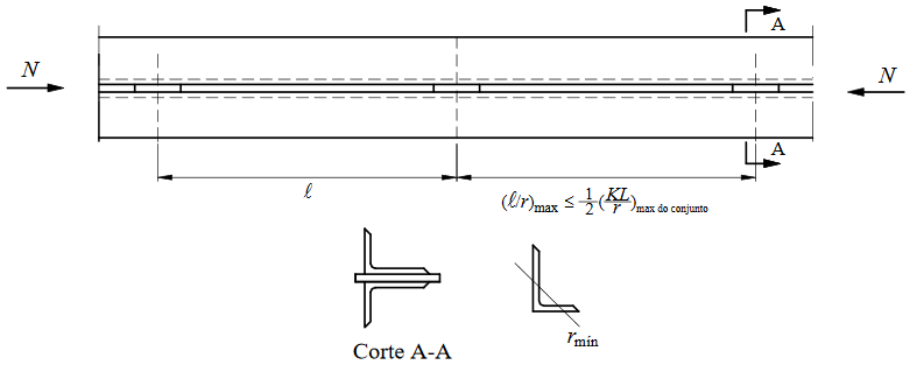


Figura 12 — Barra composta comprimida

$$\frac{l}{r}max = \frac{1}{2}.\frac{k.L}{r}conj$$

$$\lambda x = \frac{kx.Lx}{rx} = \frac{0{,}5.269{,}5}{2{,}36} = 57{,}09$$

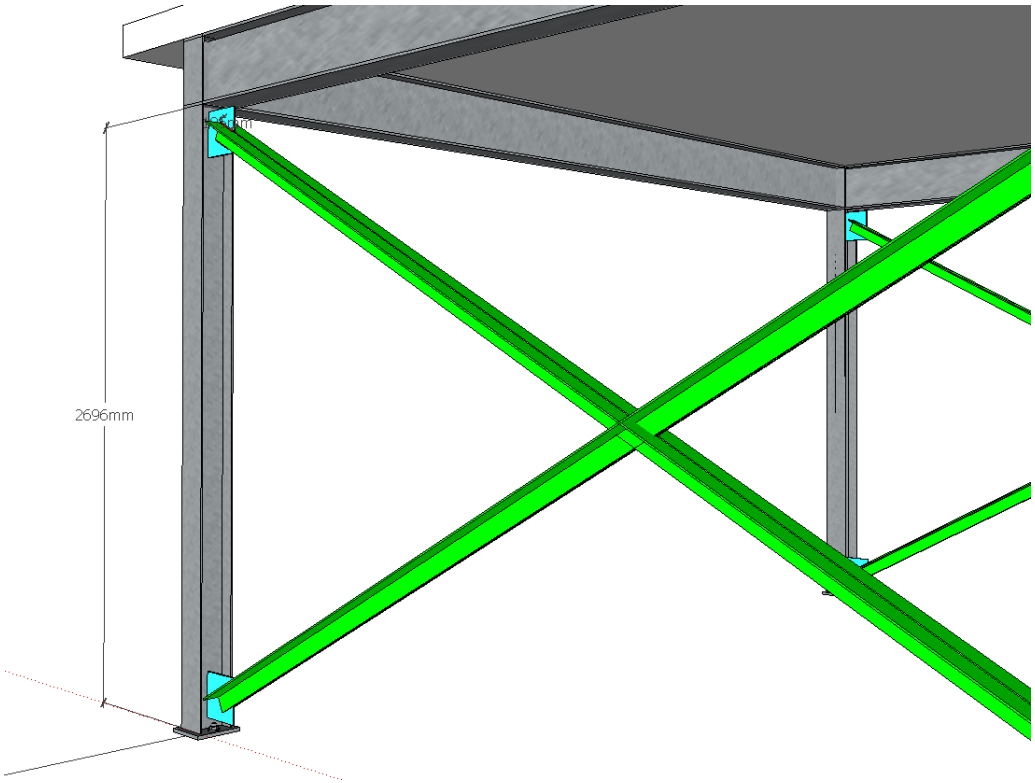
$$\lambda y = \frac{ky.Ly}{ry} = \frac{0{,}5.539}{3{,}73} = 72{,}25$$

$$\frac{l}{2{,}36} = \frac{1}{2}.72{,}25$$

$$l = \frac{2{,}36\ .72{,}25}{2} = 85{,}25cm$$

Lembrando que a norma estabelece que devemos instalar duas chapas espaçadoras adicionais

Exercício 05 - **Considere o Pilar W150X22,5(H) ASTM A572GR50 da Figura.**



Determine a máxima carga de compressão à qual o pilar pode ser solicitado.
Considere a base articulada e a cabeça engastada em X e em Y

PROPRIEDADES MECÂNICAS

	ASTM A 572 Grau 50	ASTM A 572 Grau 60*	ASTM A 992*	AÇO COR 500*	ASTM A 131 AH32*	ASTM A 131 AH36*
Limite de Escoamento (MPa)	345 mín.	415 mín.	345 a 450	370 mín.	315 mín.	355 mín.
Limite de Resistência (MPa)	450 mín.	520 mín.	450 mín.	500 mín.	440 a 590	490 a 620
Alongamento após ruptura (%)	18 mín.	16 mín.	18 mín.	18 mín.	19 mín.	19 mín.

RESOLUÇÃO:

TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b_f mm	ESPESSURA t_w mm	ESPESSURA t_f mm	h mm	d' mm	Área cm^2	EIXO X - X I_x cm^4	EIXO X - X W_x cm^3	EIXO X - X r_x cm	EIXO X - X Z_x cm^3	EIXO Y - Y I_y cm^4	EIXO Y - Y W_y cm^3	EIXO Y - Y r_y cm	EIXO Y - Y Z_y cm^3	r_t cm	I_t cm^4	ESBELTEZ MESA-λ_T $b_f/2t_f$	ESBELTEZ ALMA-λ_w d'/t_w	C_w cm^6	u m^2/m	BITOLA in x lb/ft
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4.181	0,67	W 6 x 8,5
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6.683	0,69	W 6 x 12
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20.417	0,88	W 6 x 15
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10.206	0,69	W 6 x 16
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30.277	0,90	W 6 x 20
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67	39.930	0,91	W 6 x 25
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8.222	0,77	W 8 x 10
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11.098	0,79	W 8 x 13
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13.868	0,79	W 8 x 15
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32.477	0,92	W 8 x 18
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40.822	0,93	W 8 x 21
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69.502	1,03	W 8 x 24
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83.948	1,04	W 8 x 28
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4543	447,6	8,81	495,3	1535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141.342	1,19	W 8 x 31
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5298	514,4	8,90	572,5	1784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85	166.710	1,19	W 8 x 35
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4977	488,0	8,55	551,3	1673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155.075	1,20	HP 8 x 36

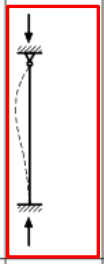
Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{k.L}{r} \leq 200$$

$$\lambda x = \frac{kx.Lx}{rx} = \frac{0{,}7.269{,}6}{6{,}51} = 28{,}98 \; OK$$

$$\lambda y = \frac{ky.Ly}{ry} = \frac{0{,}7.269{,}6}{3{,}65} = 51{,}70 \; OK$$

a meta é preencher: $N_{c,Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1}$

A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
						
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio		Rotação e translação impedidas Rotação livre, translação impedida Rotação impedida, translação livre Rotação e translação livres				

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

Perfil composto apenas por elementos AA e AL

Qs

$$\frac{b}{t} \leq 0{,}56\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow 0{,}56\sqrt{\frac{20500}{34{,}5}} \rightarrow 13{,}65$$

$$\frac{b}{t} = \frac{b}{2tf} = 11{,}52 \text{ (tabela)} \quad Qs = 1{,}0$$

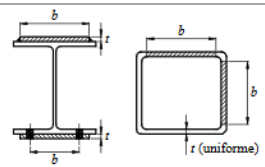
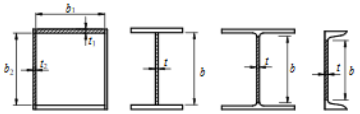
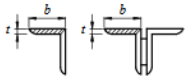
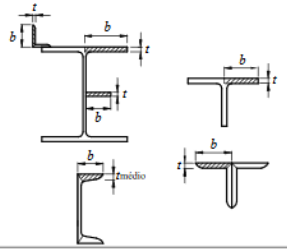
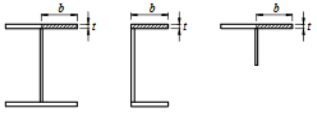
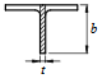
Qa

$$\frac{b}{t} \leq 1{,}49\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow 1{,}49\sqrt{\frac{20500}{34{,}5}} \rightarrow 36{,}32$$

$$\frac{b}{t} = \frac{h}{tw} = 20{,}48 \text{ (tabela)} \quad Qa = 1{,}0$$

$$Q = Qa \,.\, Qs = 1{,}0$$

Tabela F.1 — Valores de $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	— Mesas ou almas de seções tubulares retangulares — Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1{,}40\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	— Almas de seções I, H ou U — Mesas ou almas de seção-caixão — Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1{,}49\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travejamento		$0{,}45\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	— Mesas de seções I, H, T ou U laminadas — Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas — Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0{,}56\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	— Mesas de seções I, H, T ou U soldadas [a]		$0{,}64\sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	— Almas de seções T		$0{,}75\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

[a] O coeficiente k_c é dado em F.2.

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar carga crítica de flambagem elástica

$$Ne_x = \frac{\pi^2 . E . I_x}{(K_x . L_x)^2} \qquad Ne_x = \frac{\pi^2 . 20500 . 1229}{(0{,}7 \, . \, 269{,}6)^2} = 6981{,}83 \; kN$$

$$Ne_y = \frac{\pi^2 . E . I_y}{(K_y . L_y)^2} \qquad Ne_y = \frac{\pi^2 . 20500 . 387}{(0{,}7 \, . \, 269{,}6)^2} = 2198{,}51 \; kN$$

$$r_0 = \sqrt{{r_x}^2 + {r_y}^2 + x^2 + y^2} = \sqrt{6{,}51^2 + 3{,}65^2} = 7{,}46 cm$$

$$\mathrm{N_{Ez}} = \frac{\frac{\pi^2 . \mathrm{E} . \mathrm{C_w}}{(\mathrm{K_z L_z})^2} + \mathrm{G} . \mathrm{I_t}}{(\mathrm{r_0})^2} = \frac{\frac{\pi^2 . 20500 . 20417}{(1.269{,}6)^2} + 7700 . 4{,}75}{(7{,}46)^2} = 1678{,}45 \mathrm{kN}$$

E.2.2 Coeficiente de flambagem por torção

O coeficiente de flambagem por torção, K_z, função das condições de contorno, deve ser determinado por análise estrutural, ou, simplificadamente, tomado igual a:

a) 1,00, quando ambas as extremidades da barra possuírem rotação em torno do eixo longitudinal impedida e empenamento livre;

b) 2,00, quando uma das extremidades da barra possuir rotação em torno do eixo longitudinal e empenamento livres e, a outra extremidade, rotação e empenamento impedidos.

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q.A_g.F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1{,}0\ .\ 29\ .\ 34{,}5}{1678{,}45}} = 0{,}772$$

5.3.3 Fator de redução χ

5.3.3.1 O fator de redução associado à resistência à compressão, χ, é dado por:

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

- para $\lambda_0 > 1{,}5$: $\chi = \frac{0{,}877}{\lambda_0^2}$

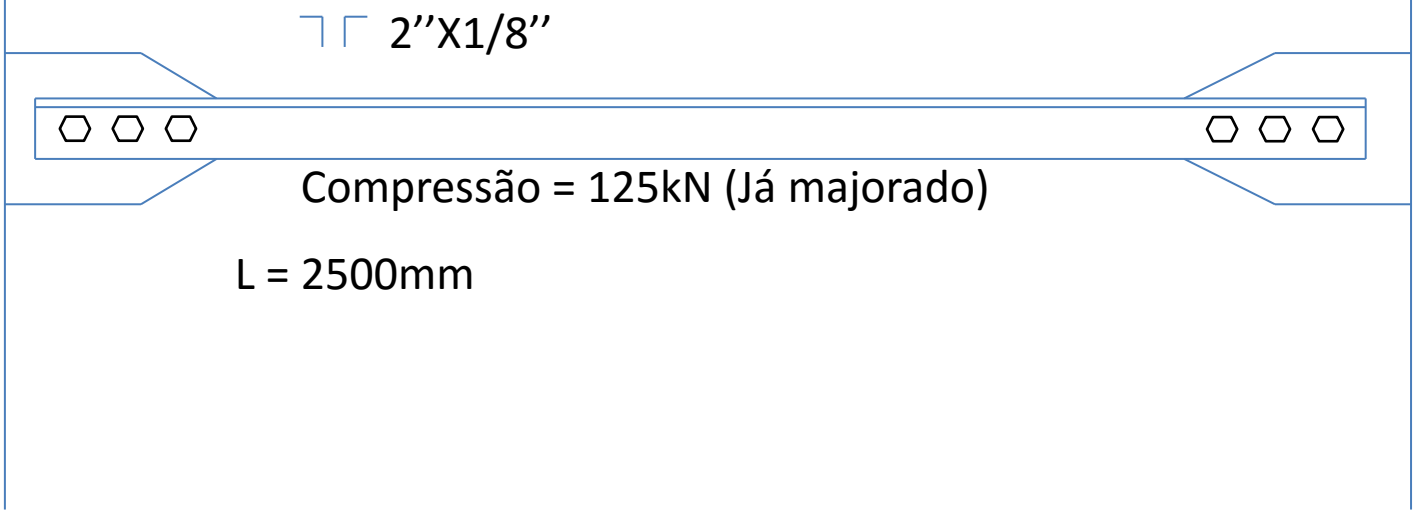
$$\chi = 0{,}658^{\lambda^2} = 0{,}658^{0{,}772^2} = 0{,}7792$$

Passo 4 – Preencher a fórmula:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1} = \frac{0{,}7792\ .\ 1\ .\ 29\ .34{,}5}{1{,}1} = 708{,}72\ kN$$

Exercício 06 - **Considere a dupla cantoneira parafusada a seguir**

A distância entre os parafusos de ligação é 40mm
O diâmetro dos parafusos é 12,7mm
Verifique se o perfil utilizado está aprovado
a chapa de ligação tem espessura 5/16''
ASTM A36



Compressão = 125kN (Já majorado)

L = 2500mm

RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{k.L}{r} \leq 200$$

$$\lambda x = \frac{kx.Lx}{rx} = \frac{1.250}{1{,}60} = 156{,}25\ OK$$

$$\lambda y = \frac{ky.Ly}{ry} = \frac{1.250}{2{,}40} = 104{,}16\ OK$$

a meta é preencher: $N_{c,Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1}$

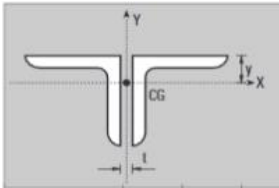


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais

Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					I	W	r	y	t						
pol	cm	kg/m	cm²	pol	cm⁴	cm³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,98	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1, 27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,190
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	140,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm²	pol	cm⁴	cm³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

Perfil composto apenas por elementos AL

$$\frac{b}{t} \leq 0{,}45\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow 0{,}45\sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 12{,}88$$

$$\frac{b}{t} = \frac{50{,}8}{3{,}2} = 15{,}87 > 12{,}88$$

F.2 Elementos comprimidos AL

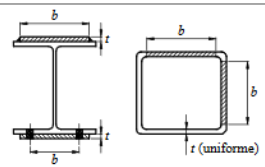
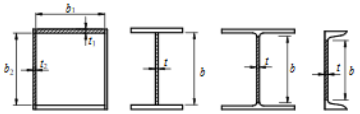
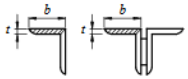
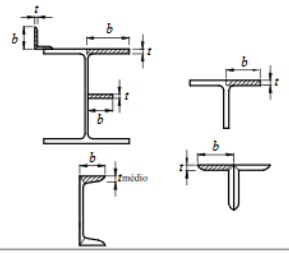
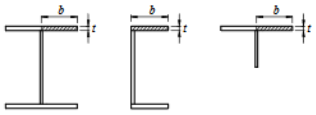
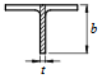
Os valores de Q_s a serem usados para os elementos comprimidos AL são os seguintes.

a) elementos do Grupo 3 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1{,}340 - 0{,}76\frac{b}{t}\sqrt{\frac{f_y}{E}}, \quad \text{para} \quad 0{,}45\sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 0{,}91\sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0{,}53\,E}{f_y\left(\frac{b}{t}\right)^2}, \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} > 0{,}91\sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Tabela F.1 — Valores de $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	— Mesas ou almas de seções tubulares retangulares — Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1{,}40\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	— Almas de seções I, H ou U — Mesas ou almas de seção-caixão — Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1{,}49\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travejamento		$0{,}45\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	— Mesas de seções I, H, T ou U laminadas — Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas — Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0{,}56\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	— Mesas de seções I, H, T ou U soldadas [a]		$0{,}64\sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	— Almas de seções T		$0{,}75\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

[a] O coeficiente k_c é dado em F.2.

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

$$0{,}91\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow 0{,}91\sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 26{,}04$$

$$Q_s = 1{,}340 - 0{,}76.\frac{b}{t}.\sqrt{\frac{Fy}{E}}$$

$$Q_s = 1{,}340 - 0{,}76.\frac{50{,}8}{3{,}2}.\sqrt{\frac{25}{20500}} = 0{,}9186$$

F.2 Elementos comprimidos AL

Os valores de Q_s a serem usados para os elementos comprimidos AL são os seguintes.

a) elementos do Grupo 3 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1{,}340 - 0{,}76\frac{b}{t}\sqrt{\frac{f_y}{E}}, \quad \text{para} \quad 0{,}45\sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \le 0{,}91\sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0{,}53E}{f_y\left(\frac{b}{t}\right)^2}, \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} > 0{,}91\sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar carga crítica de flambagem elástica

$$Ne_x = \frac{\pi^2 . E . I_x}{(K_x . L_x)^2} \qquad Ne_x = \frac{\pi^2 . 20500.15{,}82}{(1 \, . 250)^2} = 51{,}21 \; kN$$

$$ry = \sqrt{\frac{Iy}{A}} \rightarrow Iy = ry^2 . A = 2{,}4^2 \, . 6{,}2 = 35{,}17 cm^4$$

$$Ne_y = \frac{\pi^2 . E . I_y}{(K_y . L_y)^2} \qquad Ne_y = \frac{\pi^2 . 20500.35{,}17}{(1 \, . 250)^2} = 113{,}86 \; kN$$

Carga crítica de flambagem por torção pode ser desconsiderada para este caso

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q.A_g.F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{0{,}9186\,.\,6{,}20.25}{51{,}21}} = 1{,}667$$

5.3.3 Fator de redução χ

5.3.3.1 O fator de redução associado à resistência à compressão, χ, é dado por:

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

- para $\lambda_0 > 1{,}5$: $\chi = \frac{0{,}877}{\lambda_0^2}$

$$\chi = \frac{0{,}877}{\lambda^2} = \frac{0{,}877}{1{,}667^2} = 0{,}3155$$

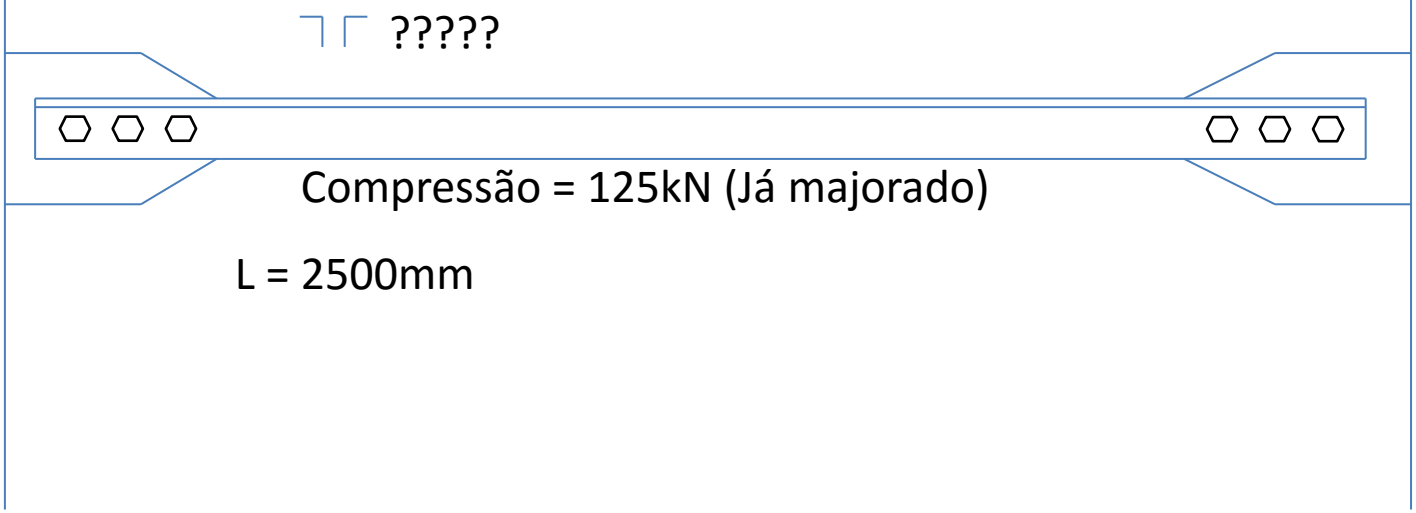
Passo 4 – Preencher a fórmula:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1} = \frac{0{,}3155\,.\,0{,}9186\,.\,6{,}20\,.25}{1{,}1} = 40{,}83\ kN < 125\ kN$$

$$-PERFIL\ REPROVADO$$

Exercício 07 - **COM BASE NO RESULTADO ANTERIOR DETERMINE O PERFIL DE CANTONEIRA ADEQUADO PARA SUPORTAR A CARGA AXIAL DE COMPRESSÃO SOLICITADA**

A distância entre os parafusos de ligação é 40mm
O diâmetro dos parafusos é 12,7mm
Verifique se o perfil utilizado está aprovado
a chapa de ligação tem espessura 5/16''
ASTM A36



RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{k.L}{r} \leq 200$$

$$\lambda x = \frac{kx.Lx}{rx} = \frac{1.250}{rx} \leq 200$$

$$rx \; e \; ry \geq \frac{1.250}{200} \geq 1{,}25$$

$$a \; meta \; é \; preencher: \; N_{c,Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1}$$

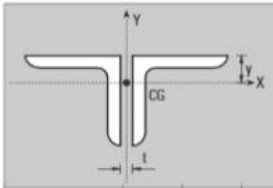


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais

Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					I	W	r	y	t						
pol	cm	kg/m	cm^2	pol	cm^4	cm^3	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,98	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1, 27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,190
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	140,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm^2	pol	cm^4	cm^3	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Pré dimensionamento

Devemos estimar X.Q para partirmos de um perfil e realizar tentativa e erro. Um número razoável é entre 0,4 e 0,6.

Adotaremos 0,5 para este caso, arbitrariamente

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi . Q . A_g . F_y}{1{,}1}$$

$$125 = \frac{0{,}5 . A_g . 25}{1{,}1}$$

$$Ag = \frac{125 \,.\, 1{,}1}{0{,}5 \,.\, 25} = 11 cm^2$$

Entre os perfis possíveis, vamos selecionar L3'' X 3/16 por ser comum. Mas outra escolha não estaria errado.

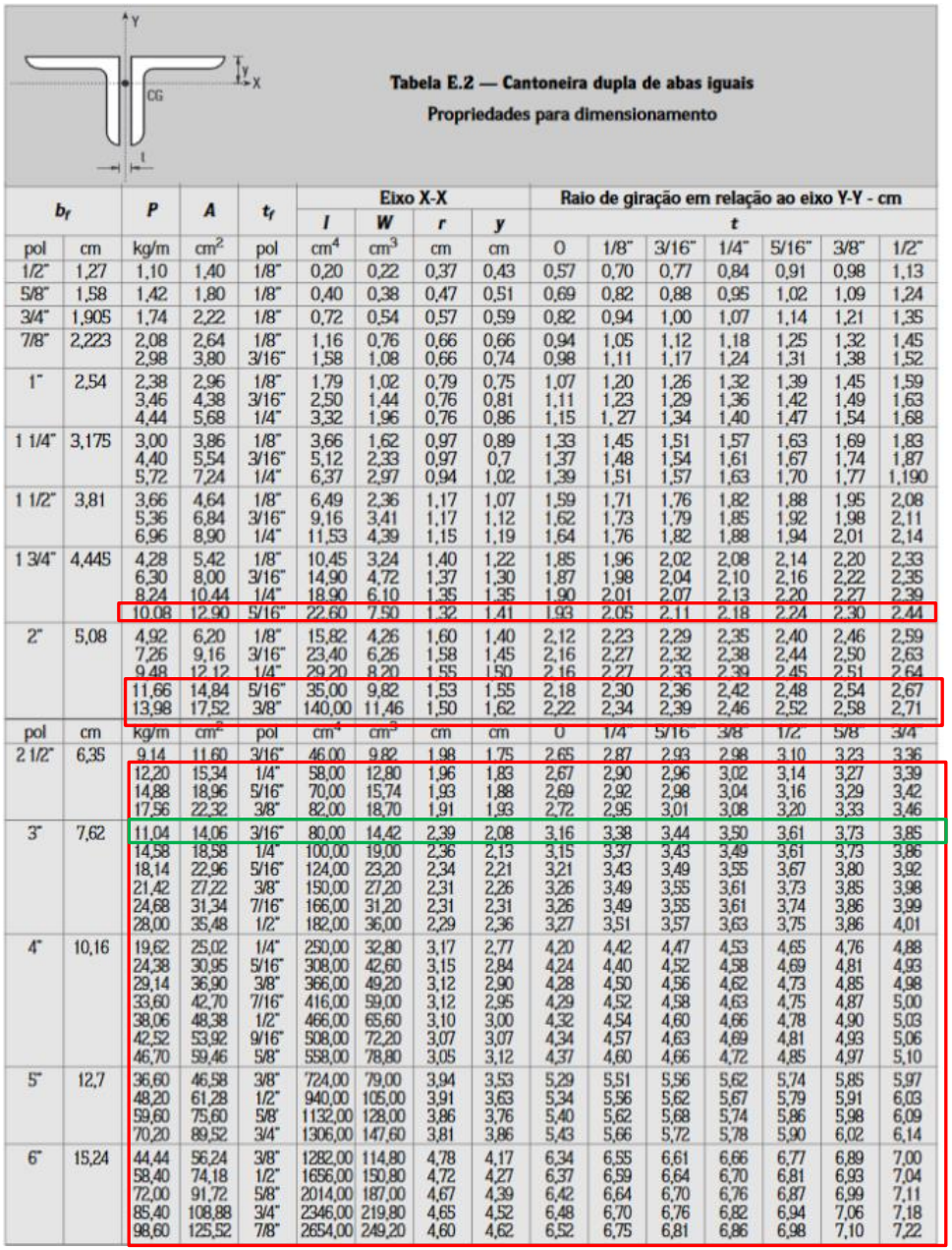


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais

Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					I	W	r	y	t						
pol	cm	kg/m	cm^2	pol	cm^4	cm^3	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,98	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1, 27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,190
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	140,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm^2	pol	cm^4	cm^3	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

RESOLUÇÃO:

Passo 2.1 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

Perfil composto apenas por elementos AL

$$\frac{b}{t} \leq 0{,}45\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow 0{,}45\sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 12{,}88$$

$$\frac{b}{t} = \frac{76{,}2}{4{,}76} = 16{,}00 > 12{,}88$$

F.2 Elementos comprimidos AL

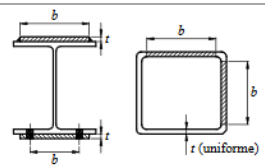
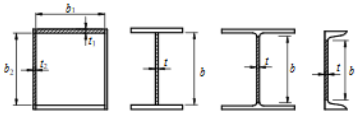
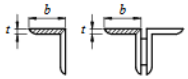
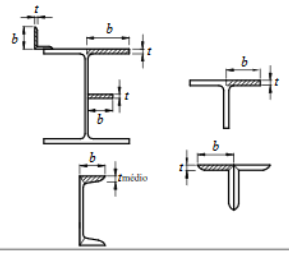
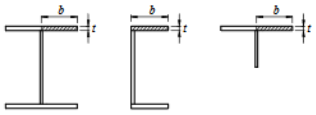
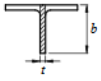
Os valores de Q_s a serem usados para os elementos comprimidos AL são os seguintes.

a) elementos do Grupo 3 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1{,}340 - 0{,}76\frac{b}{t}\sqrt{\frac{f_y}{E}}, \quad \text{para} \quad 0{,}45\sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 0{,}91\sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0{,}53E}{f_y\left(\frac{b}{t}\right)^2}, \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} > 0{,}91\sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Tabela F.1 — Valores de $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	— Mesas ou almas de seções tubulares retangulares — Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1{,}40\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	— Almas de seções I, H ou U — Mesas ou almas de seção-caixão — Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1{,}49\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travejamento		$0{,}45\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	— Mesas de seções I, H, T ou U laminadas — Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas — Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0{,}56\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	— Mesas de seções I, H, T ou U soldadas [a]		$0{,}64\sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$
	6	— Almas de seções T		$0{,}75\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

[a] O coeficiente k_c é dado em F.2.

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

$$0{,}91\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow 0{,}91\sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 26{,}04$$

$$Q_s = 1{,}340 - 0{,}76.\frac{b}{t}.\sqrt{\frac{Fy}{E}}$$

$$Q_s = 1{,}340 - 0{,}76.16.\sqrt{\frac{25}{20500}} = 0{,}9153$$

F.2 Elementos comprimidos AL

Os valores de Q_s a serem usados para os elementos comprimidos AL são os seguintes.

a) elementos do Grupo 3 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1{,}340 - 0{,}76\frac{b}{t}\sqrt{\frac{f_y}{E}}, \quad \text{para} \quad 0{,}45\sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \le 0{,}91\sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0{,}53\,E}{f_y\left(\frac{b}{t}\right)^2}, \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} > 0{,}91\sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar carga crítica de flambagem elástica

$$Ne_x = \frac{\pi^2 . E . I_x}{(K_x . L_x)^2} \qquad Ne_x = \frac{\pi^2 . 20500.80}{(1 \, . 250)^2} = 258{,}97 \; kN$$

$$ry = \sqrt{\frac{Iy}{A}} \rightarrow Iy = ry^2 . A = 3{,}61^2 \, . 14{,}06 = 183{,}23 cm^4$$

$$Ne_y = \frac{\pi^2 . E . I_y}{(K_y . L_y)^2} \qquad Ne_y = \frac{\pi^2 . 20500.183{,}23}{(1 \, . 250)^2} = 593{,}13 \; kN$$

Carga crítica de flambagem por torção pode ser desconsiderada para este caso

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q.A_g.F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{0{,}9153\ .\ 14{,}06.25}{258{,}97}} = 1{,}11$$

5.3.3 Fator de redução χ

5.3.3.1 O fator de redução associado à resistência à compressão, χ, é dado por:

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

- para $\lambda_0 > 1{,}5$: $\chi = \frac{0{,}877}{\lambda_0^2}$

$$\chi = 0{,}658^{1{,}11^2} = 0{,}5970$$

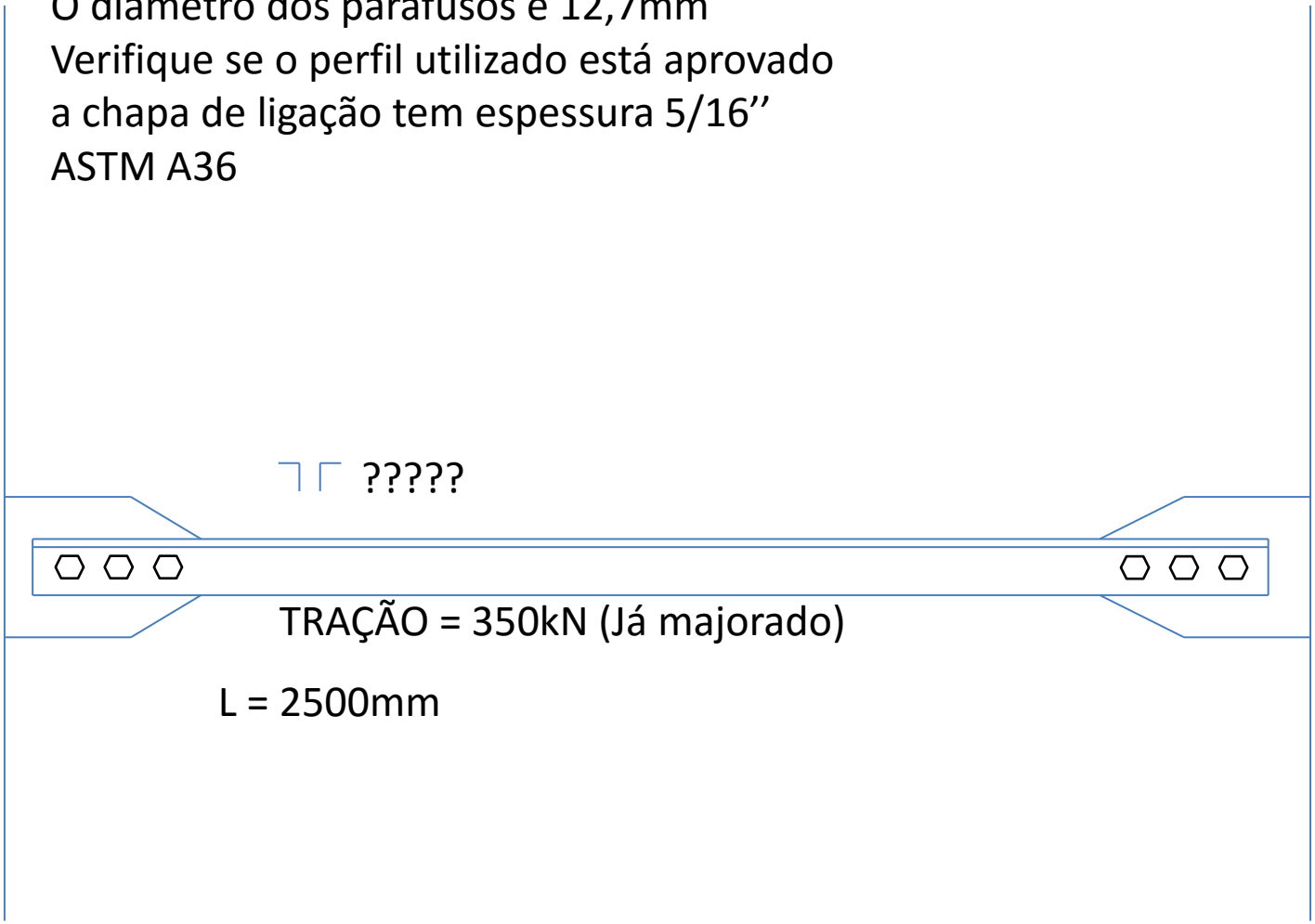
Passo 4 – Preencher a fórmula:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1} = \frac{0{,}5970\ .\ 0{,}9153\ .\ 14{,}06\ .25}{1{,}1} = 174{,}6\ kN > 125\ kN$$

$$-PERFIL\ APROVADO$$

Exercício 08 - **DETERMINE O PERFIL DE CANTONEIRA ADEQUADO PARA SUPORTAR A CARGA AXIAL DE TRAÇÃO SOLICITADA**

A distância entre os parafusos de ligação é 40mm
O diâmetro dos parafusos é 12,7mm
Verifique se o perfil utilizado está aprovado
a chapa de ligação tem espessura 5/16''
ASTM A36



RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{L}{r} \leq 300$$

$$r > \frac{250}{300} > 0{,}83$$

Passo 2 – Verificar Escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g . F_y}{1{,}1}$$

$$Ag = \frac{350\ .\ 1{,}1}{25} = 15{,}4\ cm^2$$

Uma boa estimativa é um perfil com 10% a mais de área devido à verificação do ct posteriormente. Selecionaremos L3’’X1/4’’

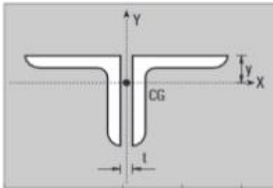


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais

Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					I	W	r	y	t						
pol	cm	kg/m	cm²	pol	cm⁴	cm³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,98	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1, 27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,190
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,19	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	140,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm²	pol	cm⁴	cm³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Verificar Ruptura da seção líquida

$$N_{t,Rd} = \frac{Ct.A_n.F_u}{1{,}35} \qquad An = 18{,}58 - (1{,}27 + 0{,}15 + 0{,}2).0{,}476 = 17{,}80cm^2$$

$$Ct = 1 - \frac{e_c}{l_c} \rightarrow \qquad Ct = 1 - \frac{2{,}13}{3\,.\,4} \rightarrow \qquad Ct = 0{,}8225$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0{,}8225.17{,}80.40}{1{,}35} = 433{,}8\ kN > 350\ kN$$ - OK

VERIFICANDO NOVAMENTE O ESCOAMENTO DA SEÇÃO BRUTA

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g.F_y}{1{,}1} = \frac{18{,}58.25}{1{,}1} = 422{,}27\ OK\ PERFIL\ APROVADO$$ a 82,9% da Resistência