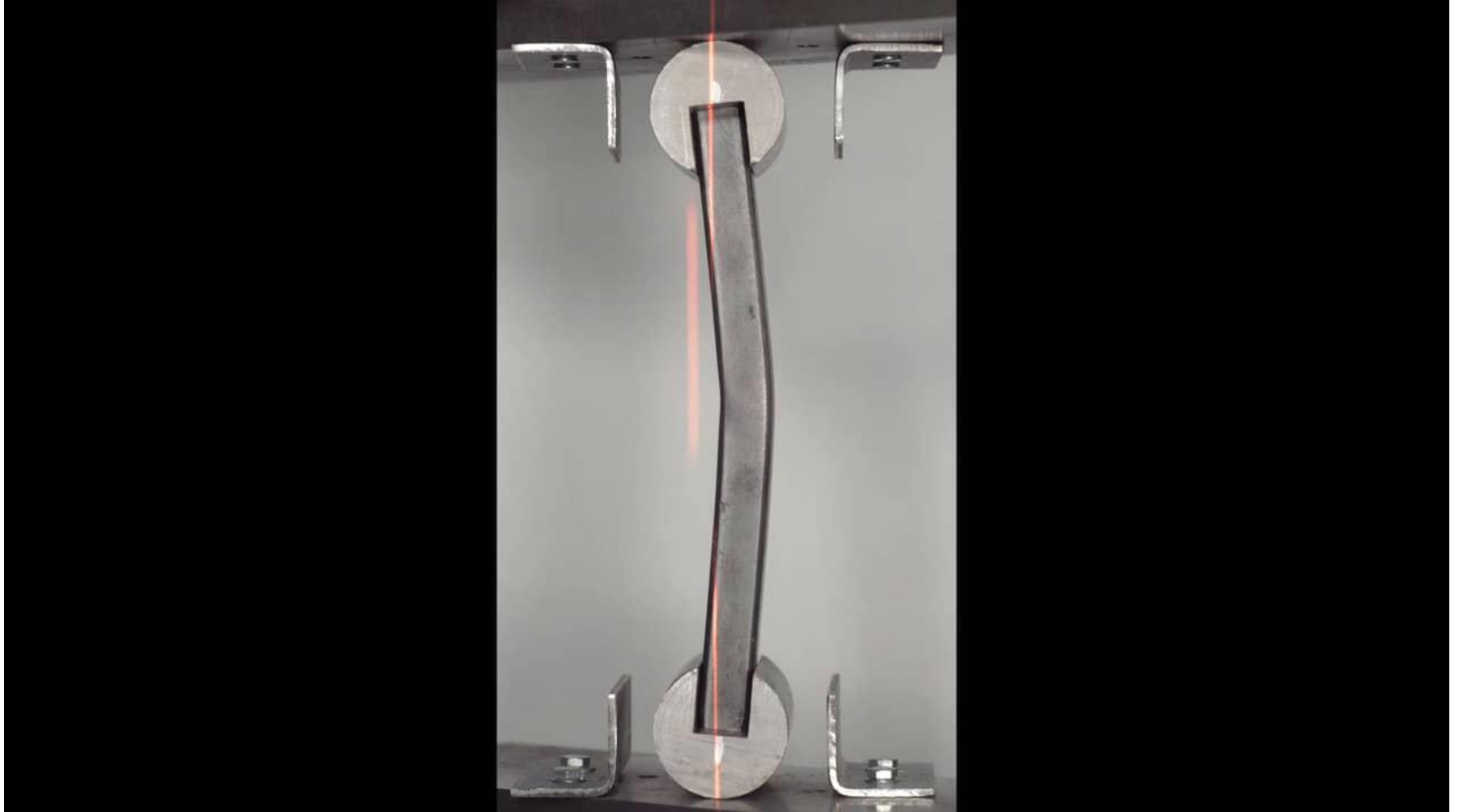


Barras comprimidas

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

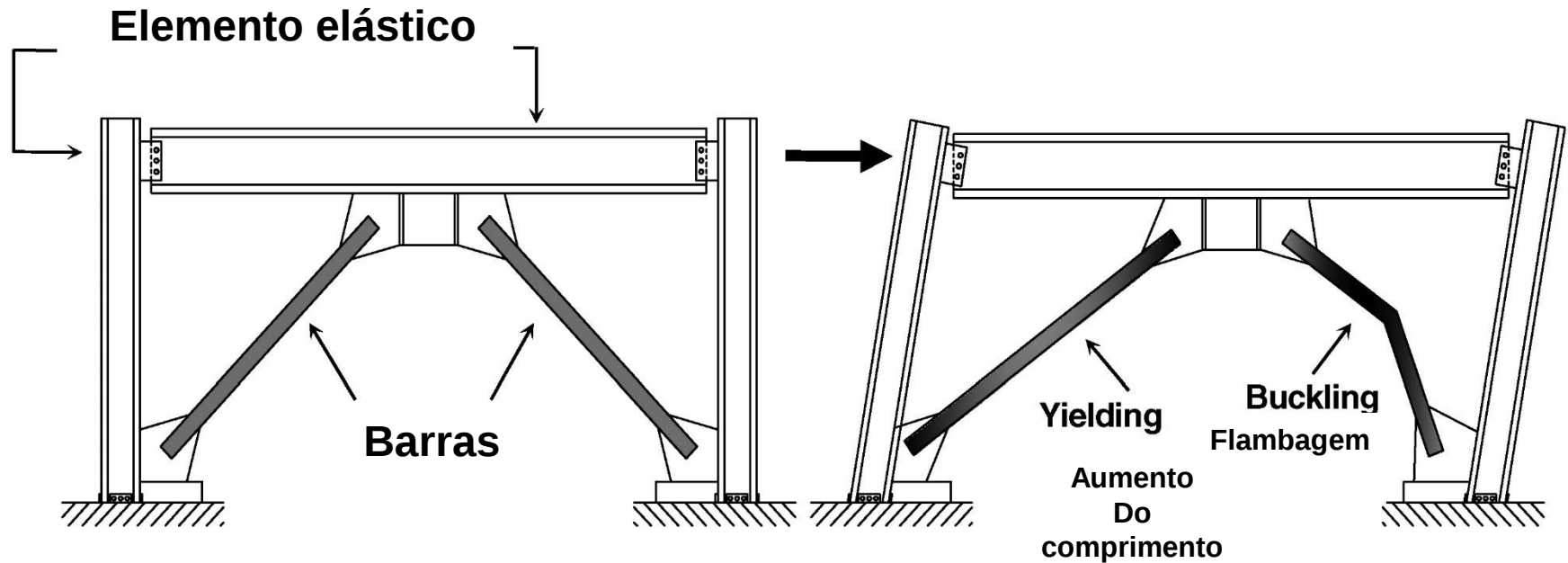
Barras comprimidas:



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

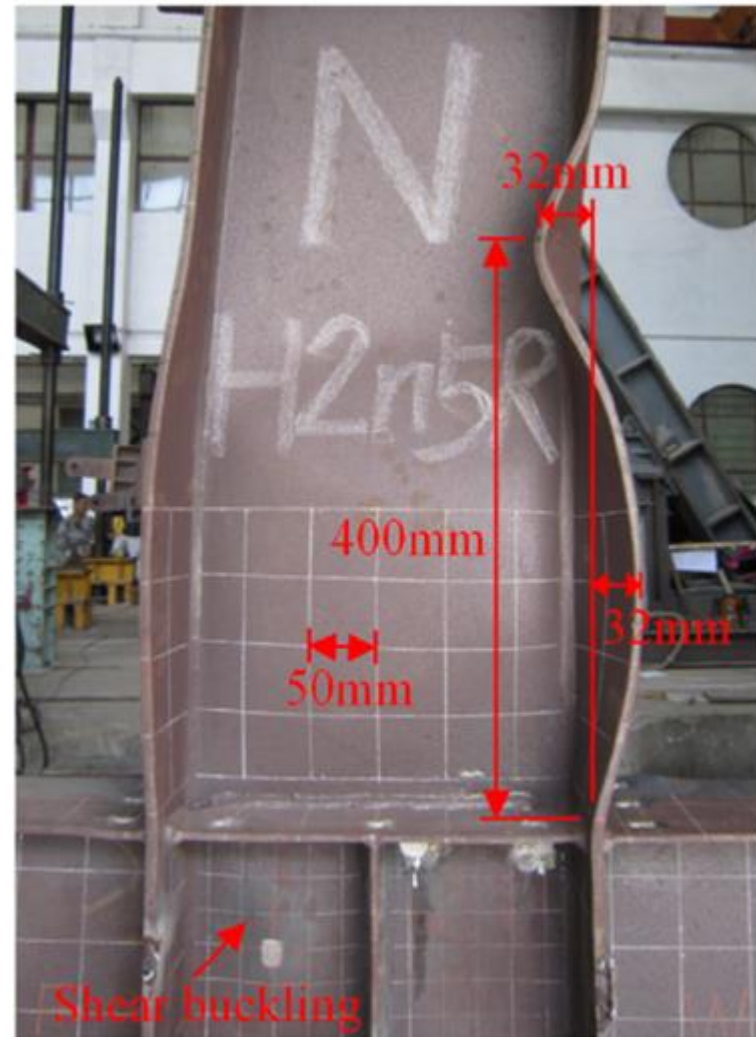
Barras comprimidas:

Flambagem Global.



Barras comprimidas:

Flambagem Local.



Limitação da Esbeltez:

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.

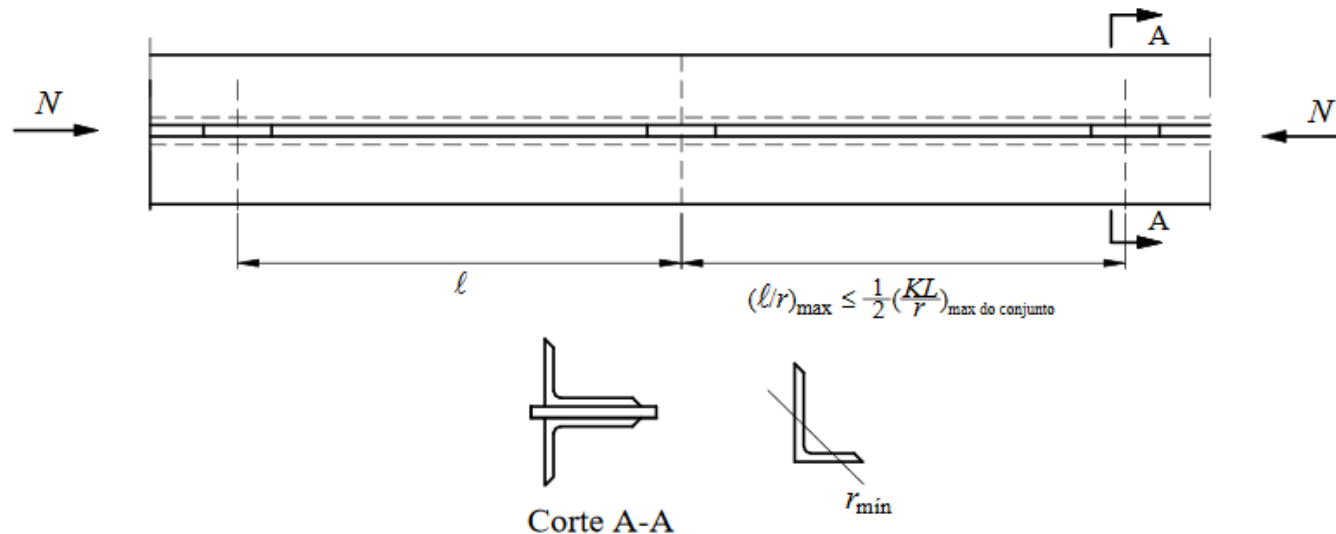


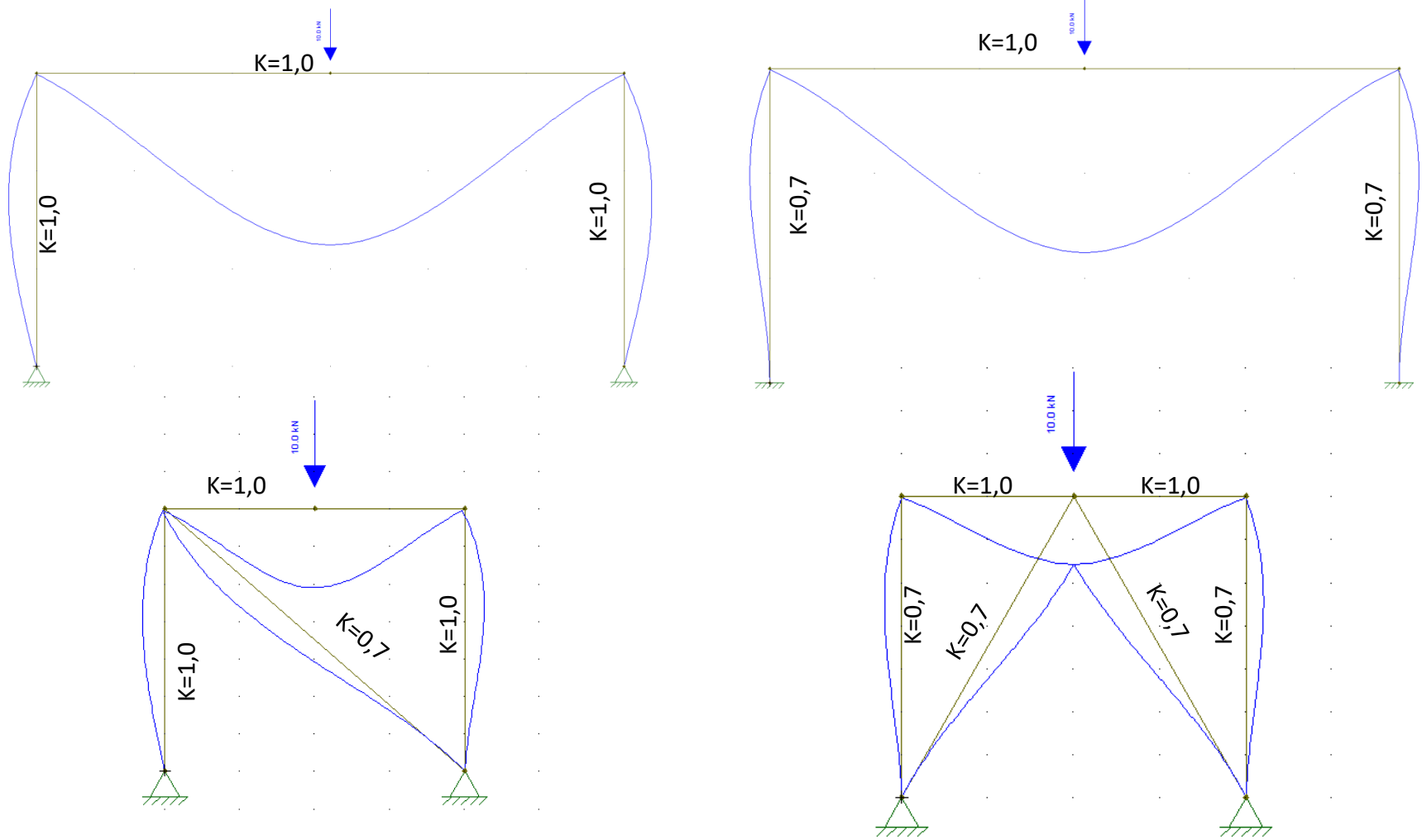
Figura 12 — Barra composta comprimida

Limitação da Esbeltez:

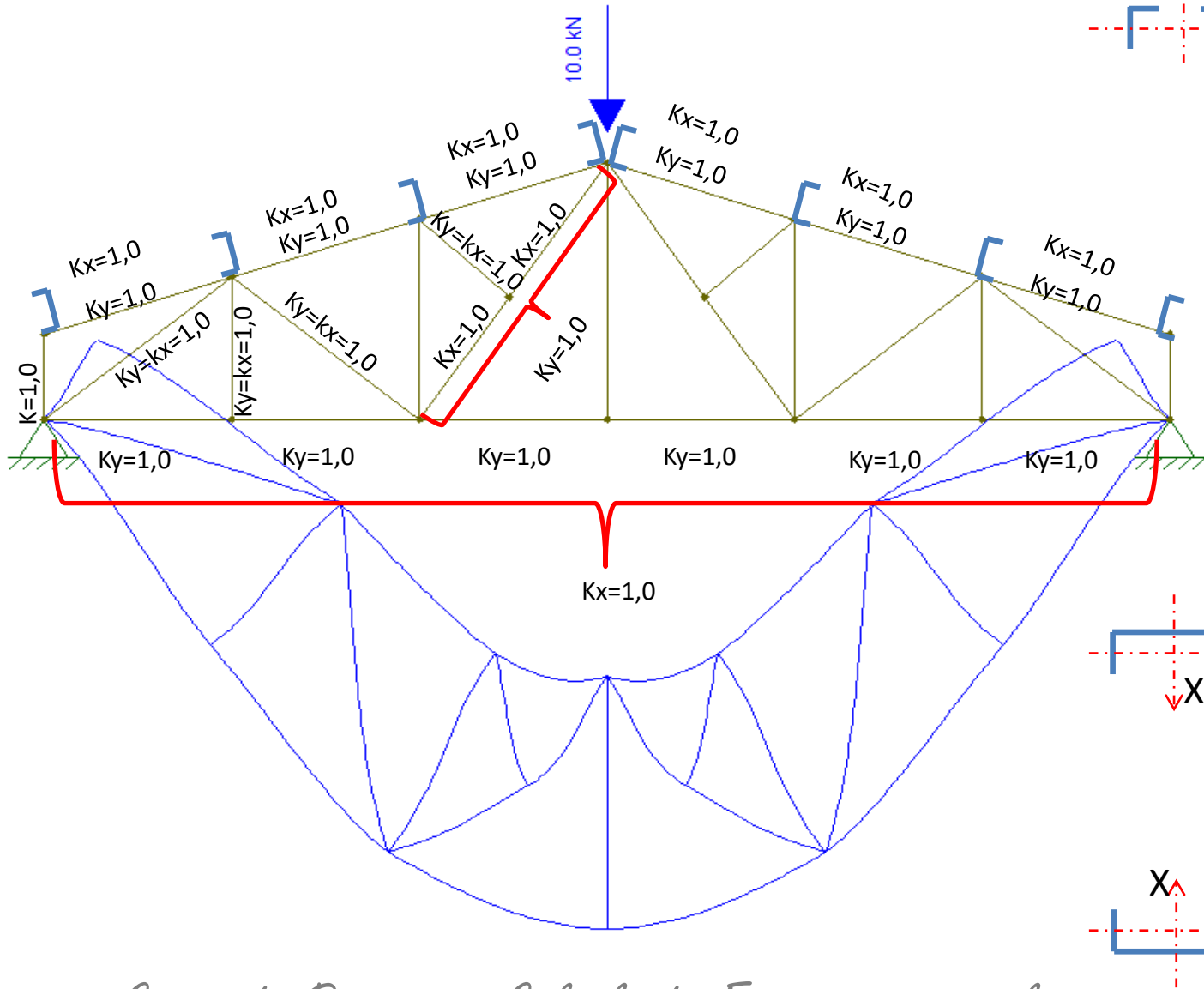
Tabela E.1 — Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
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					

Exemplo:

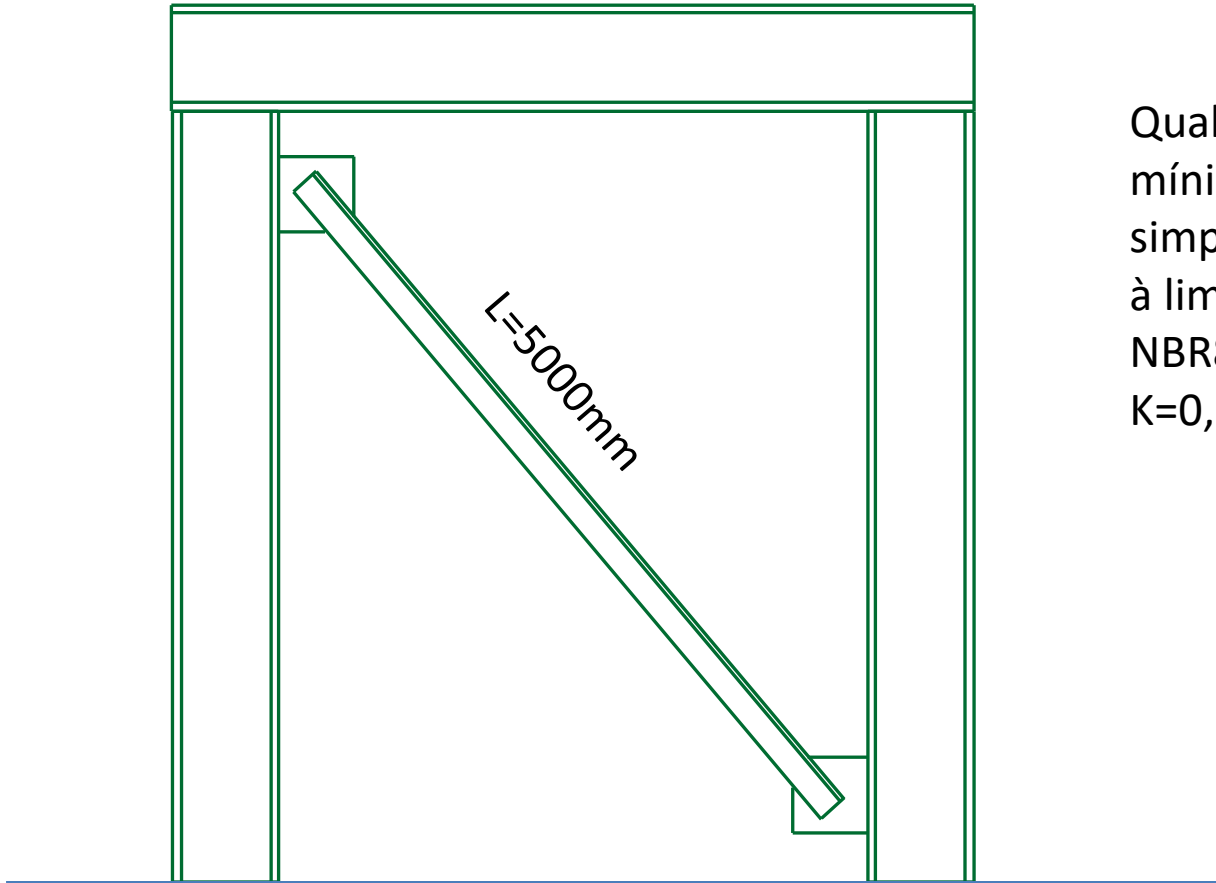


Exemplo:



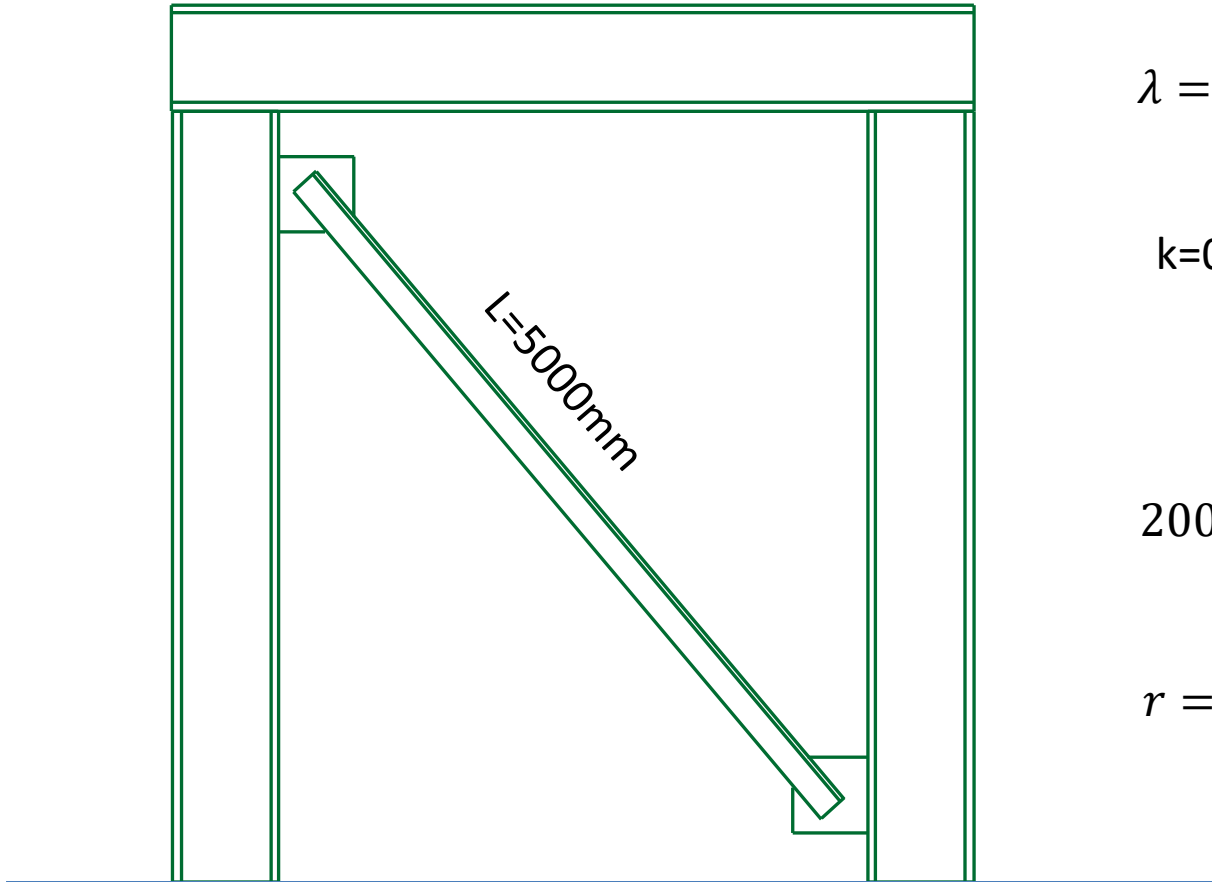
Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exemplo:



Qual o raio de giração R_x mínimo para que a cantoneira simples de abas iguais atenda à limitação de esbeltez da NBR8800/08 (considerar $K=0,7$)

Exemplo:



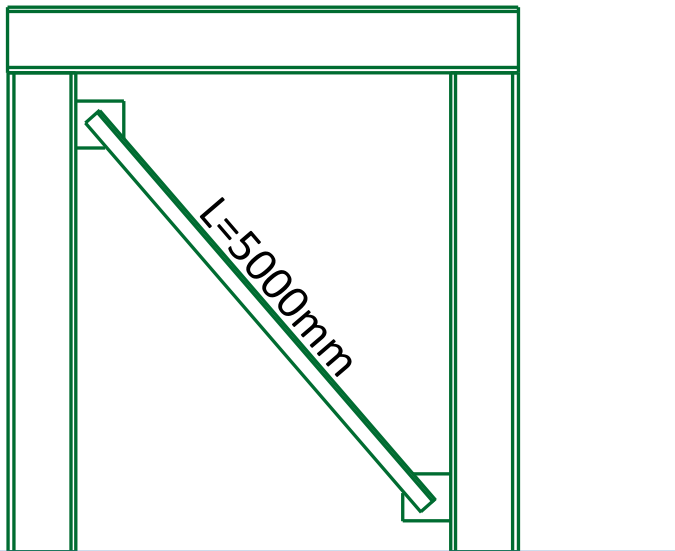
$$\lambda = \frac{k \cdot L}{r} \leq 200$$

$$k=0,7$$

$$200 = \frac{0,7 \cdot 500}{r}$$

$$r = \frac{0,7 \cdot 500}{200}$$

$$r_{\min} = 1,75\text{cm}$$

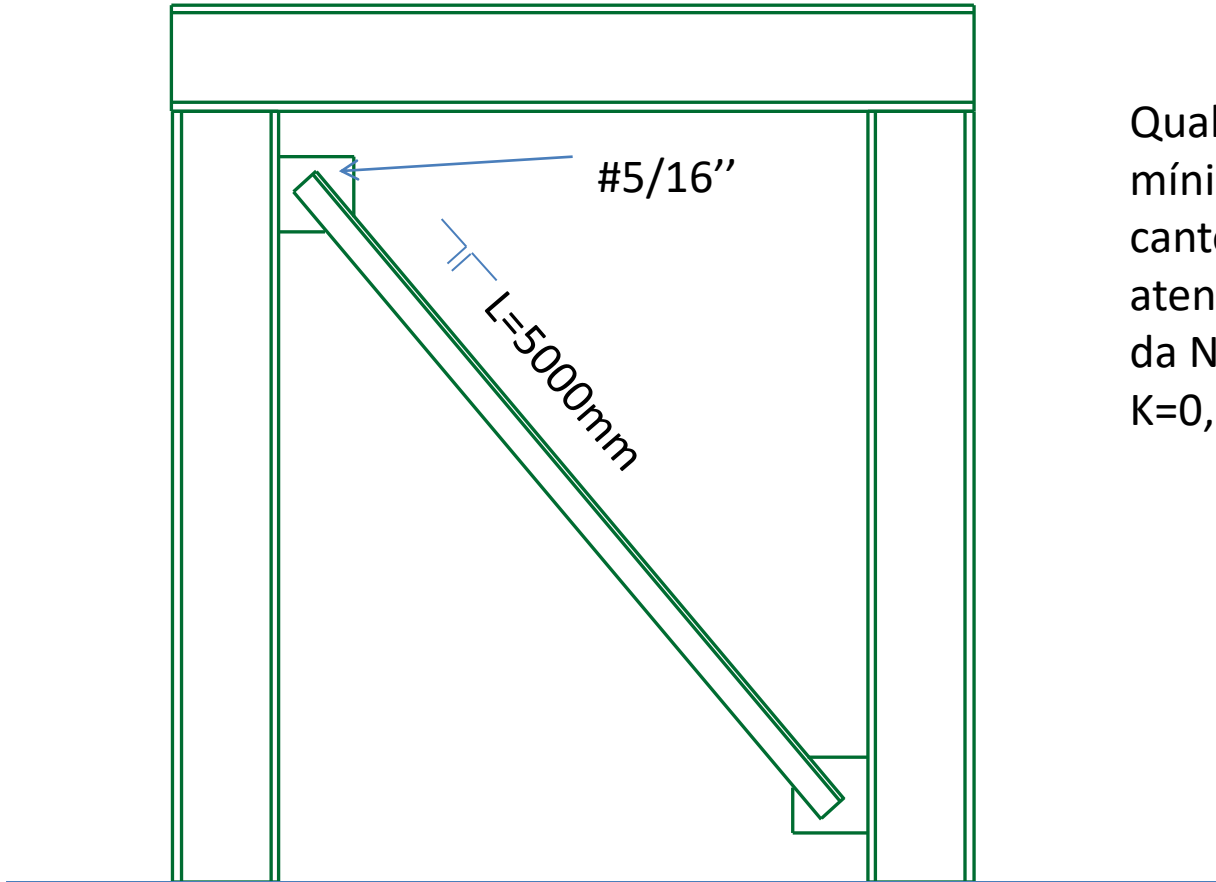


$$r_{\min} = 1,25\text{cm}$$

Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais
Propriedades para dimensionamento

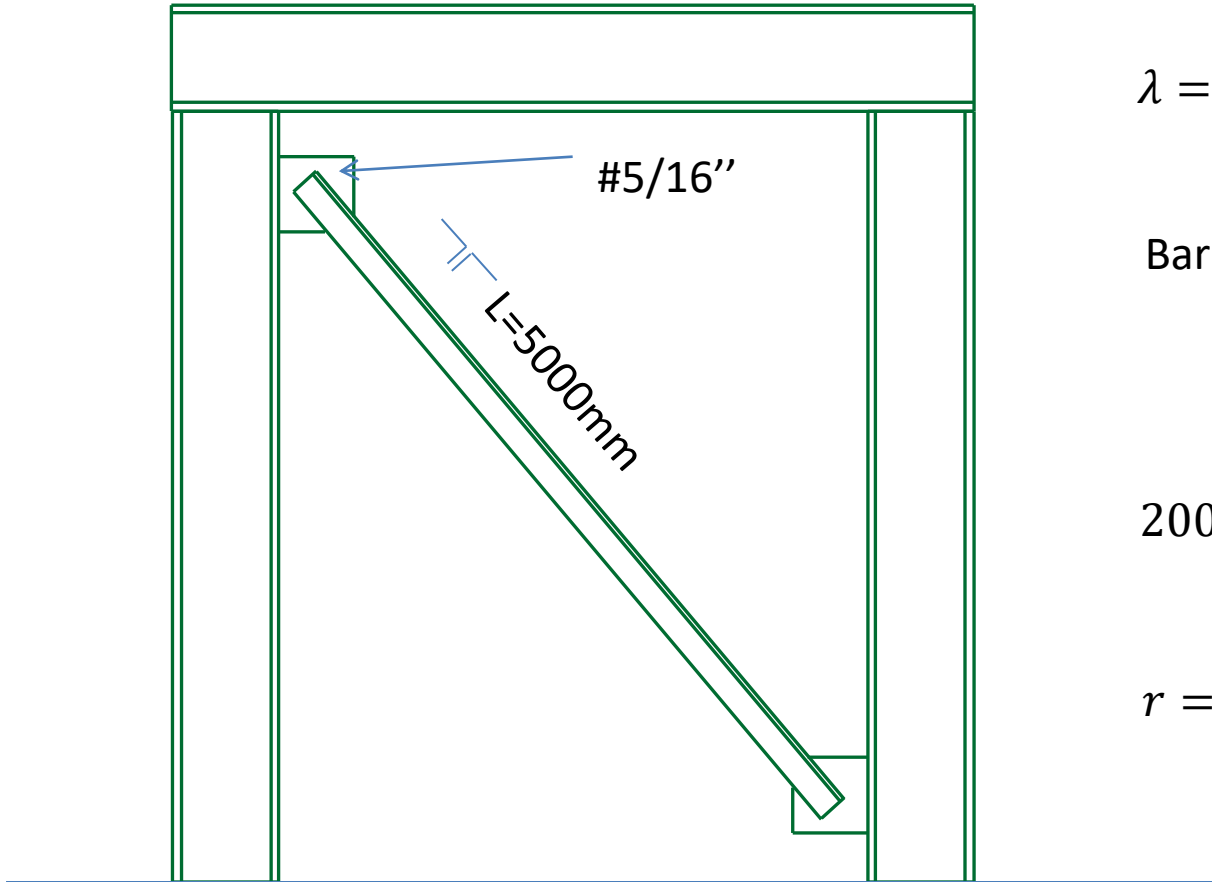
b_f		P	A	t_f		$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	$r_x = r_y$	$r_{z\min}$	x
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
1/2"	1,270	0,55	0,70	1/8"	0,317	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,588	0,71	0,90	1/8"	0,317	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,905	0,87	1,11	1/8"	0,317	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,220	1,04	1,32	1/8"	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	4,59	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

Exemplo:



Qual o raio de giração R_x mínimo para que a dupla cantoneira de abas iguais atenda à limitação de esbeltez da NBR8800/08 (considerar $K=0,7$)

Exemplo:



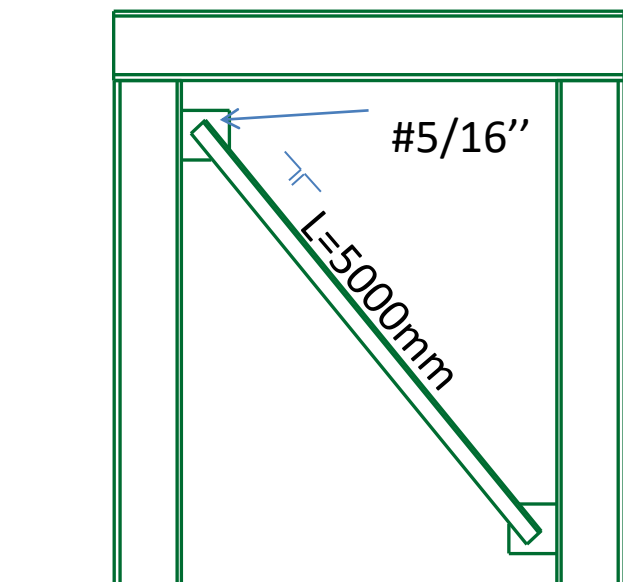
$$\lambda = \frac{k \cdot L}{r} \leq 200$$

Barra bi-engastada: $k = 0,7$

$$200 = \frac{0,7 \cdot 5000}{r}$$

$$r = \frac{250}{200}$$

$$r_{min} = 1,75cm$$



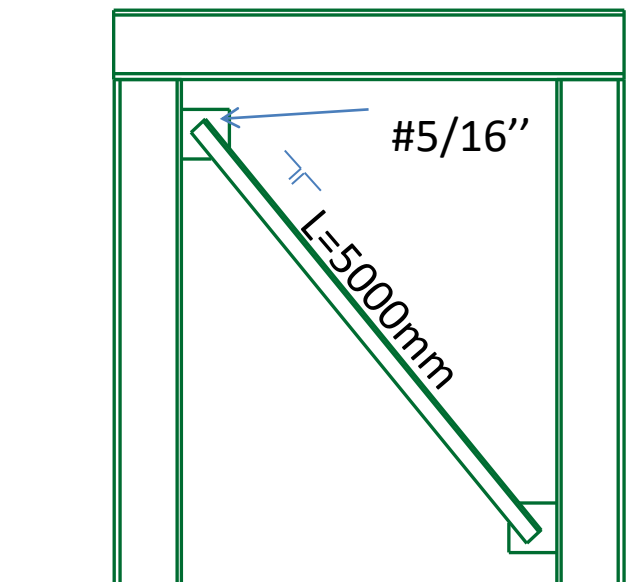
Selecionaremos
L2.1/2"X3/16"

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	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
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
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
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
		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"	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
		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
		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 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
		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
		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 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
		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
		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
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
		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
		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
		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"	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
		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
		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
		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
		13,98	17,52	3/8"	40,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58
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
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,88	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27
		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
		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"	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
		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
		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
		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
		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
		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"	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
		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
		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
		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
		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
		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
		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"	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
		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
		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
		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"	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
		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
		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
		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
		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

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.



Definir a quantidade de chapas espaçadoras

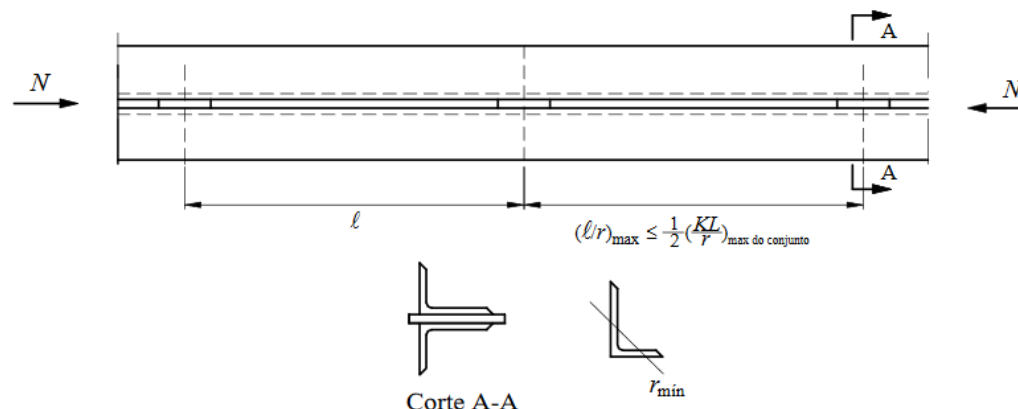


Figura 12 — Barra composta comprimida

$$\frac{l}{r}(\text{Peça isolada}) = \frac{1}{2} \frac{k \cdot L}{r}(\text{conjunto})$$

$$N = \frac{L}{l} + 2$$

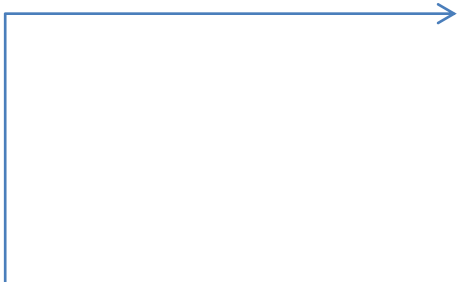
$$\frac{l}{1,24} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,7 \cdot 500}{1,98} \quad l = 109,59 \text{ cm}$$

$$N = \frac{500}{109,59} + 2 = 4,56 + 2 \sim 7 \text{ chapas}$$

Resistência de Peças Comprimidas:

Condição 2

Fatores de redução


$$N_{rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1}$$

Cálculo de Q:

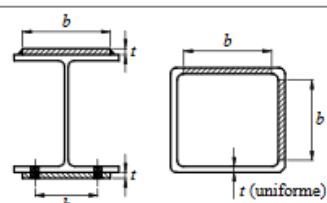
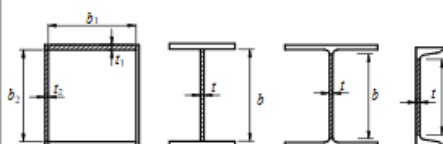
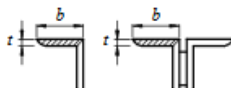
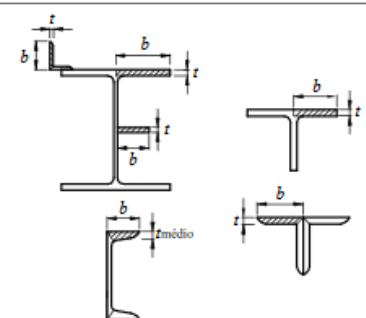
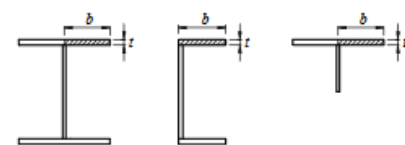
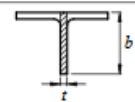
$$Q = Q_s \times Q_a$$

Q_a = Elementos AA

Q_s = Elementos AL

Se $(b/t) < (b/t)_{lim}$ então $Q = 1,00$

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.

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Cálculo de Q_a :

F.3 Elementos comprimidos AA

F.3.1 O fator de redução Q_a das seções transversais com elementos comprimidos AA, cuja relação entre largura e espessura ultrapassa os valores indicados na Tabela F.1, é definido como:

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}$$

onde A_g é a área bruta e A_{ef} a área efetiva da seção transversal, dada por: $A_{ef} = A_g - \sum (b - b_{ef}) t$ com o somatório estendendo-se a todos os elementos AA. Nessa expressão b e t são, respectivamente, a largura e a espessura de um elemento comprimido AA, conforme Tabela F.1; b_{ef} é a largura efetiva de um elemento comprimido AA, conforme F.3.2.

F.3.2 A largura efetiva dos elementos AA é igual a:

$$b_{ef} = 1,92 t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[1 - \frac{c_a}{b/t} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] \leq b$$

onde c_a é um coeficiente, igual a 0,38 para mesas ou almas de seções tubulares retangulares e 0,34 para todos os outros elementos e σ é a tensão que pode atuar no elemento analisado, tomada igual a:

$$\sigma = \chi f_y$$

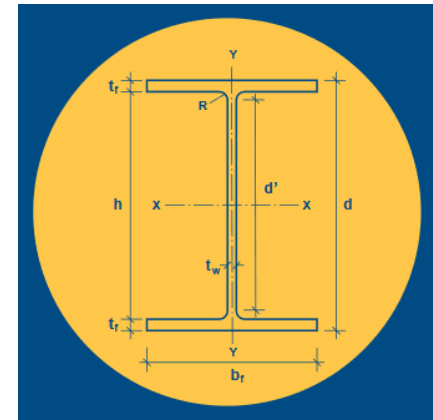
com χ obtido conforme 5.3.3, adotando Q igual a 1,0. Opcionalmente, de forma conservadora, pode-se tomar:

$$\sigma = f_y$$

Cálculo de Qa:

Exemplo:

Calcular o fator de redução Qa para a alma de um perfil W200X15,00 solicitado à compressão Axial



BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²
				t _f mm	t _w mm			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3

$$\frac{b}{t} = \frac{d'}{t_w} = \frac{170}{4,3} = 39,53$$

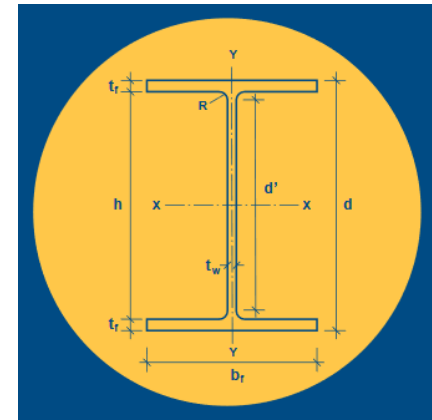
$$\frac{b}{t} \lim = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{b}{t} \lim = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{20500}{34,5}} = 36,32$$

Cálculo de Qa:

Exemplo:

Calcular o fator de redução Qa para a alma de um perfil W200X15,00 solicitado à compressão Axial



BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm²
				t _f mm	t _w mm			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3

$$b_{ef} = 1,92 \cdot t_f \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{C_a}{\left(\frac{b}{t}\right)} \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right]$$

$$b_{ef} = 1,92 \cdot 0,43 \cdot \sqrt{\frac{20500}{34,5}} \left[1 - \frac{0,34}{\left(\frac{17}{0,43}\right)} \cdot \sqrt{\frac{20500}{34,5}} \right]$$

$$A_{ef} = A_g - b_{ef} \cdot t_w = 19,4 - (17 - 15,9) \cdot 0,43 = 18,92 \text{ cm}^2$$

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g} = \frac{18,92}{19,4} = 0,975$$

Cálculo de Q_s :

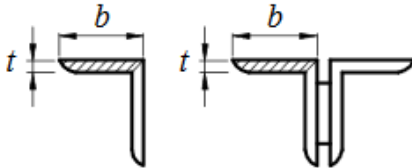
F.2 Elementos comprimidos AL

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:

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

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

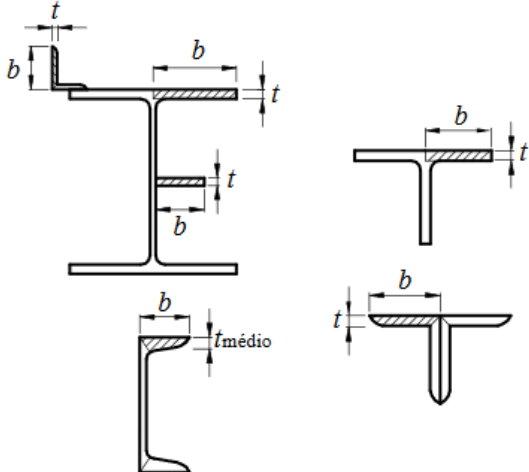
3	— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travessamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
---	--	--	-----------------------------

Cálculo de Q_s :

b) elementos do Grupo 4 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \quad \text{para} \quad 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,69 E}{f_y \left(\frac{b}{t} \right)^2}, \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

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		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
---	--	---	-----------------------------

Cálculo de Q_s :

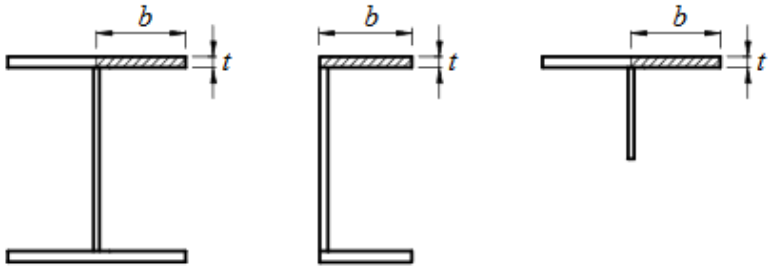
c) elementos do Grupo 5 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1,415 - 0,65 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{k_c E}}, \text{ para } 0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}} < \frac{b}{t} \leq 1,17 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$$

$$Q_s = \frac{0,90 E k_c}{f_y \left(\frac{b}{t} \right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,17 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$$

com o coeficiente k_c dado por

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}, \text{ sendo } 0,35 \leq k_c \leq 0,76$$

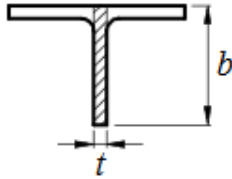
5	— Mesas de seções I, H, T ou U soldadas ^a		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
---	--	---	-------------------------------------

Cálculo de Q_s :

d) elementos do Grupo 6 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1,908 - 1,22 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

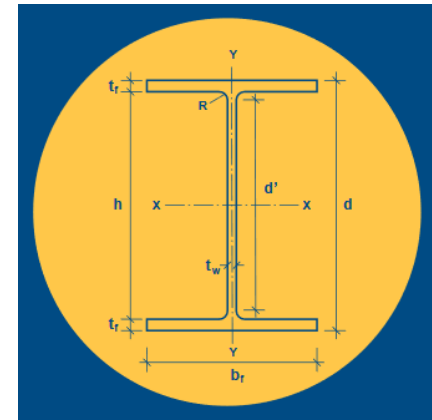
$$Q_s = \frac{0,69 E}{f_y \left(\frac{b}{t} \right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

6	— Almas de seções T		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
---	---------------------	--	-----------------------------

Cálculo de Qs:

Exemplo:

Calcular o fator de redução Qs para a mesa de um perfil W200X15,00 solicitado à compressão Axial



BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b, mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm²
				t _f mm	t _w mm			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3

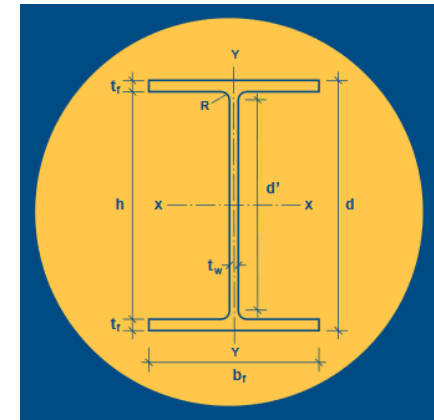
$$\frac{b}{t} = \frac{\left(\frac{bf}{2}\right)}{tf} = \frac{50}{5,2} = 9,61 \quad Q_s = 1,00$$

$$\frac{b}{t} \lim = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{b}{t} \lim = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{20500}{34,5}} = 13,65$$

Cálculo de Qs:

Tabela de bitolas da Gerdau fornece o valor pronto



Lim. = 13,65

Lim. = 36,32

Somente para I e H ASTM
A572GR50

TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b, mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r ₁ cm	I _x cm ⁴	ESBELTEZ		C _w cm ⁴	u m ² /m	BITOLA in x lb/ft
				t _f mm	t _w mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³			MESA - λ _m b _f /2t _f	ALMA - λ _w d'/t _w			
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

Cálculo de Q:

$$Q = Q_s \times Q_a$$

$$Q = 1,00 \times 0,975 = 0,975$$

$$N_{rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1}$$

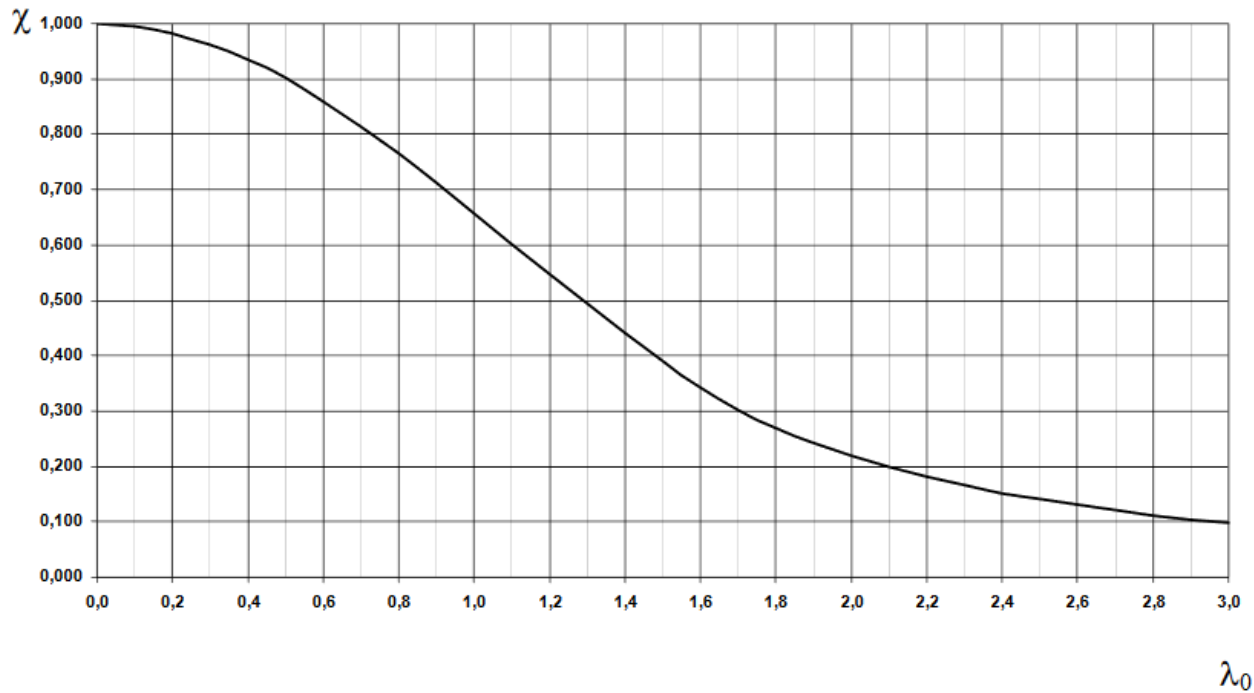
$$N_{rd} = \frac{\chi \cdot 0,975 \cdot 19,4 \cdot 34,5}{1,1}$$

Cálculo de χ :

Tabela 4 — Valor de χ em função do índice de esbeltez λ_0

λ_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	λ_0
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,0
0,1	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989	0,988	0,987	0,985	0,1
0,2	0,983	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968	0,965	0,2
0,3	0,963	0,961	0,958	0,955	0,953	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,3
0,4	0,935	0,932	0,929	0,926	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,4
0,5	0,901	0,897	0,893	0,889	0,885	0,881	0,877	0,873	0,869	0,864	0,5
0,6	0,860	0,856	0,851	0,847	0,842	0,838	0,833	0,829	0,824	0,819	0,6
0,7	0,815	0,810	0,805	0,800	0,795	0,790	0,785	0,780	0,775	0,770	0,7
0,8	0,765	0,760	0,755	0,750	0,744	0,739	0,734	0,728	0,723	0,718	0,8
0,9	0,712	0,707	0,702	0,696	0,691	0,685	0,680	0,674	0,669	0,664	0,9
1,0	0,658	0,652	0,647	0,641	0,636	0,630	0,625	0,619	0,614	0,608	1,0
1,1	0,603	0,597	0,592	0,586	0,580	0,575	0,569	0,564	0,558	0,553	1,1
1,2	0,547	0,542	0,536	0,531	0,525	0,520	0,515	0,509	0,504	0,498	1,2
1,3	0,493	0,488	0,482	0,477	0,472	0,466	0,461	0,456	0,451	0,445	1,3
1,4	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405	0,400	0,395	1,4
1,5	0,390	0,385	0,380	0,375	0,370	0,365	0,360	0,356	0,351	0,347	1,5
1,6	0,343	0,338	0,334	0,330	0,326	0,322	0,318	0,314	0,311	0,307	1,6
1,7	0,303	0,300	0,296	0,293	0,290	0,286	0,283	0,280	0,277	0,274	1,7
1,8	0,271	0,268	0,265	0,262	0,259	0,256	0,253	0,251	0,248	0,246	1,8
1,9	0,243	0,240	0,238	0,235	0,233	0,231	0,228	0,226	0,224	0,221	1,9
2,0	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,203	0,201	2,0
2,1	0,199	0,197	0,195	0,193	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185	0,183	2,1
2,2	0,181	0,180	0,178	0,176	0,175	0,173	0,172	0,170	0,169	0,167	2,2
2,3	0,166	0,164	0,163	0,162	0,160	0,159	0,157	0,156	0,155	0,154	2,3
2,4	0,152	0,151	0,150	0,149	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,141	2,4
2,5	0,140	0,139	0,138	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	2,5
2,6	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	2,6
2,7	0,120	0,119	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,113	2,7
2,8	0,112	0,111	0,110	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	2,8
2,9	0,104	0,104	0,103	0,102	0,101	0,101	0,100	0,099	0,099	0,098	2,9
3,0	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0

Cálculo de χ :



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

Cálculo de λ_0 :

5.3.3.2 O índice de esbeltez reduzido, λ_0 , é dado por:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}}$$

E.1 Valores da força axial de flambagem elástica

E.1.1 Seções com dupla simetria ou simétricas em relação a um ponto

A força axial de flambagem elástica, N_e , de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto é dada por:

a) para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal:

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

b) para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal:

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

c) para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + G J \right] \quad r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x^2 + y^2}$$

Cálculo de λ_o :

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 $0 \leq \frac{L_{x1}}{r_{x1}} \leq 80$: $K_{x1} L_{x1} = 72 r_{x1} + 0,75 L_{x1}$

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.

Cálculo de X:

Exemplo:

Calcular o fator de redução X para um perfil W200X15,00 solicitado à compressão Axial, bi-articulado e cujo comprimento de flambagem em X seja 7000 e em Y sejam 3500mm e em Z seja 3500mm

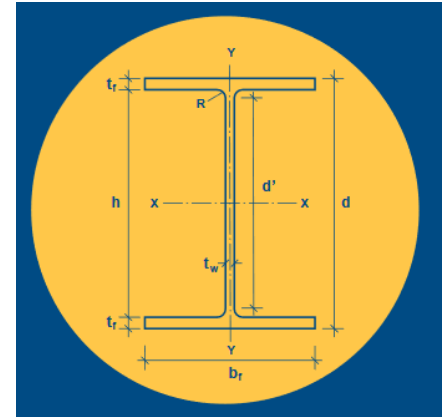


TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b_f mm	ESPESSURA		h mm	d'	Área cm²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r_t cm	I_x cm⁴	ESBELTEZ		C_w cm⁵	u m²/m	BITOLA in x lb/ft
				t_f mm	t_w mm				I_y cm⁴	W_x cm³	r_x cm	Z_x cm³	I_y cm⁴	W_y cm³	r_y cm	Z_y cm³			MESA - λ_y b_f/2t_f	ALMA - λ_w d'/t_w			
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

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(kx \cdot Lx)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 1305}{(1,0 \cdot 700)^2} = 538,85kN$$

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x^2 + y^2} = \sqrt{8,2^2 + 2,12^2} = 8,47cm$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(ky \cdot Ly)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 87}{(1,0 \cdot 350)^2} = 143,69kN$$

$$N_{Ez} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z L_z)^2} + G \cdot I_t}{(r_0)^2} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 8222}{(350)^2} + 7700 \cdot 2,05}{(8,47)^2} = 409,3 kN$$

Seleciona-se
o caso mais crítico

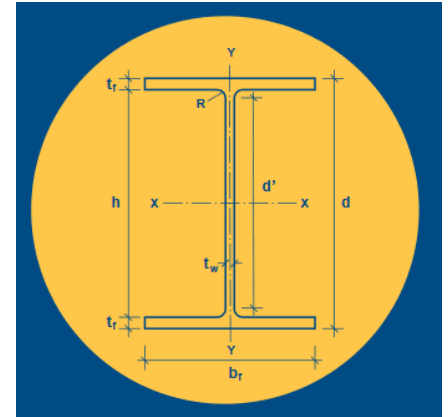
Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Cálculo de χ :

Exemplo:

$$N_e = 143,69 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{0,975 \cdot 19,4 \cdot 34,5}{143,69}} = 2,13$$



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

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} = \frac{0,877}{2,13^2} = 0,193$$

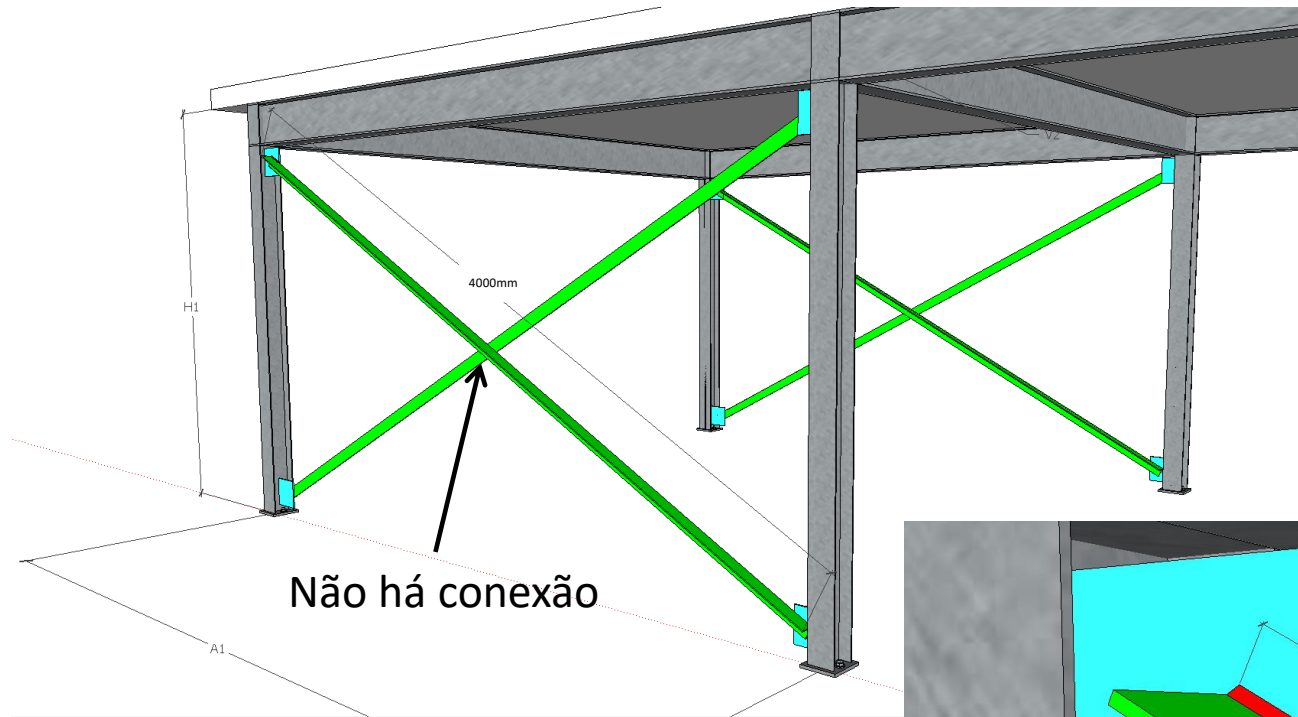
$$N_c, Rd = \frac{Q \cdot \chi \cdot A_g \cdot F_y}{1,1} \rightarrow N_c, Rd = \frac{0,975 \cdot 0,193 \cdot 19,4 \cdot 34,5}{1,1} = 114,5 \text{ kN}$$

Cálculo de χ :

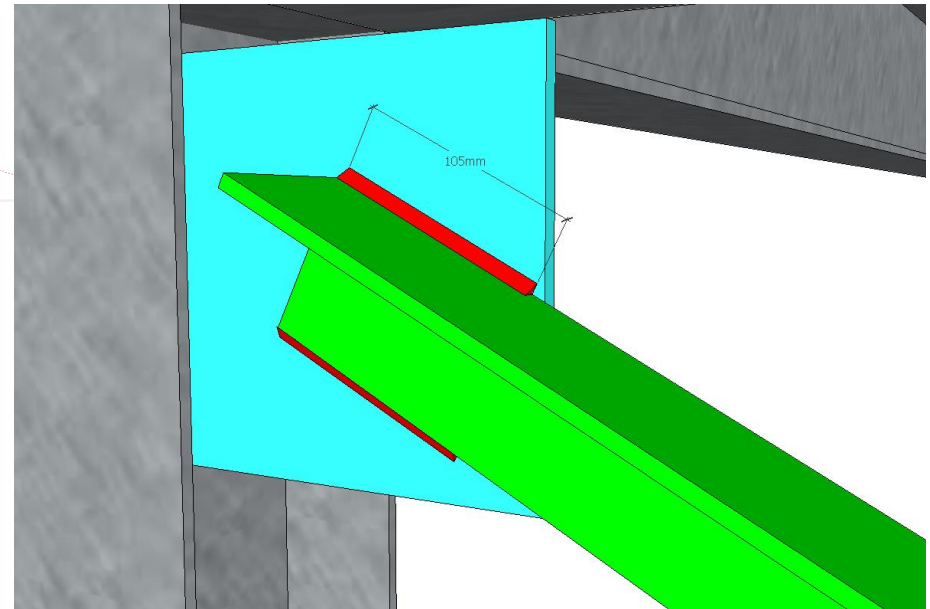
Tabela 4 — Valor de χ em função do índice de esbeltez λ_0

λ_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	λ_0
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,0
0,1	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989	0,988	0,987	0,985	0,1
0,2	0,983	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968	0,965	0,2
0,3	0,963	0,961	0,958	0,955	0,953	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,3
0,4	0,935	0,932	0,929	0,926	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,4
0,5	0,901	0,897	0,893	0,889	0,885	0,881	0,877	0,873	0,869	0,864	0,5
0,6	0,860	0,856	0,851	0,847	0,842	0,838	0,833	0,829	0,824	0,819	0,6
0,7	0,815	0,810	0,805	0,800	0,795	0,790	0,785	0,780	0,775	0,770	0,7
0,8	0,765	0,760	0,755	0,750	0,744	0,739	0,734	0,728	0,723	0,718	0,8
0,9	0,712	0,707	0,702	0,696	0,691	0,685	0,680	0,674	0,669	0,664	0,9
1,0	0,658	0,652	0,647	0,641	0,636	0,630	0,625	0,619	0,614	0,608	1,0
1,1	0,603	0,597	0,592	0,586	0,580	0,575	0,569	0,564	0,558	0,553	1,1
1,2	0,547	0,542	0,536	0,531	0,525	0,520	0,515	0,509	0,504	0,498	1,2
1,3	0,493	0,488	0,482	0,477	0,472	0,466	0,461	0,456	0,451	0,445	1,3
1,4	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405	0,400	0,395	1,4
1,5	0,390	0,385	0,380	0,375	0,370	0,365	0,360	0,356	0,351	0,347	1,5
1,6	0,343	0,338	0,334	0,330	0,326	0,322	0,318	0,314	0,311	0,307	1,6
1,7	0,303	0,300	0,296	0,293	0,290	0,286	0,283	0,280	0,277	0,274	1,7
1,8	0,271	0,268	0,265	0,262	0,259	0,256	0,253	0,251	0,248	0,246	1,8
1,9	0,243	0,240	0,238	0,235	0,233	0,231	0,228	0,226	0,224	0,221	1,9
2,0	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,203	0,201	2,0
2,1	0,199	0,197	0,195	0,193	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185	0,183	2,1
2,2	0,181	0,180	0,178	0,176	0,175	0,173	0,172	0,170	0,169	0,167	2,2
2,3	0,166	0,164	0,163	0,162	0,160	0,159	0,157	0,156	0,155	0,154	2,3
2,4	0,152	0,151	0,150	0,149	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,141	2,4
2,5	0,140	0,139	0,138	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	2,5
2,6	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	2,6
2,7	0,120	0,119	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,113	2,7
2,8	0,112	0,111	0,110	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	2,8
2,9	0,104	0,104	0,103	0,102	0,101	0,101	0,100	0,099	0,099	0,098	2,9
3,0	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0

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



Determine a máxima compressão admissível da cantoneira



RESOLUÇÃO:

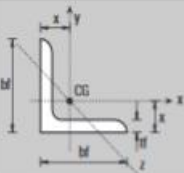
Passo 1 – Verificar Esbeltez:

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

$$\lambda = \frac{k \cdot L}{r} = \frac{0,7 \cdot 400}{1,50} = 186,66 \text{ OK}$$

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

Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais
Propriedades para dimensionamento



b_f		P	A	t_f		$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	$r_x = r_y$	$r_{x \min}$	x
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm	cm ⁴	cm ³	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	7,24	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

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

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

$$Q_s = 1,00$$

$$\text{Portanto } Q = 1,00$$

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

$$\frac{L_{x1}}{r_{x1}} = \frac{400}{2,36} = 169,49 > 80$$

$$K_{x1} L_{x1} = 32 \cdot r_{x1} + 1,25 \cdot L_{x1}$$

$$K_{x1} L_{x1} = 32 \cdot 2,36 + 1,25 \cdot 400 = 575,52$$

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

$$Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 50}{(575,52)^2} = 30,54 \text{ kN}$$

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_{ex} , 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 $0 \leq \frac{L_{x1}}{r_{x1}} \leq 80$: $K_{x1} L_{x1} = 72 r_{x1} + 0,75 L_{x1}$

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 χ (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ_0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1,0 \cdot 9,29 \cdot 25}{30,54}} = 2,75$$

5.3.3 Fator de redução χ

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

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

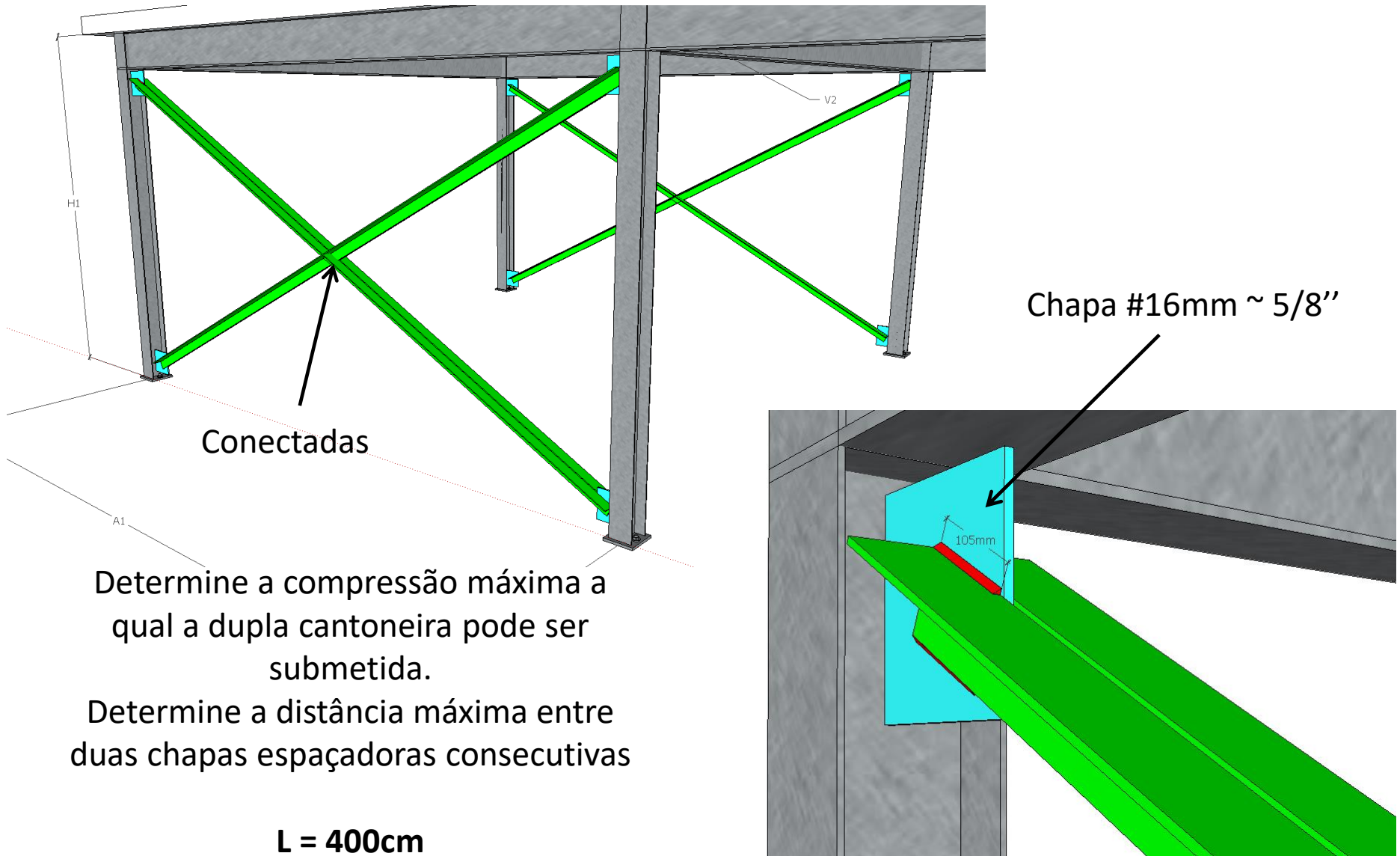
$$\text{- para } \lambda_0 > 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\chi = \frac{0,877}{(\lambda_0)^2} = 0,1159$$

Passo 4 – Preencher a fórmula:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,1159 \cdot 1 \cdot 9,29 \cdot 25}{1,1} = 24,47 \text{ kN}$$

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



RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

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

$$\lambda_x = \frac{kx \cdot Lx}{rx} = \frac{0,7 \cdot 200}{2,36} = 59,32 \text{ OK}$$

$$\lambda_y = \frac{ky \cdot Ly}{ry} = \frac{0,7 \cdot 400}{3,73} = 75,06 \text{ OK}$$

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

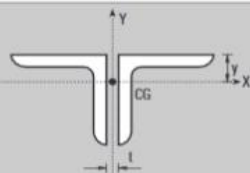


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais
Propriedades para dimensionamento

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	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	1,90
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	2,42
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"	40,00	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	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

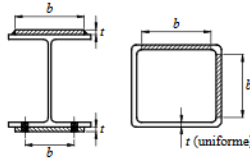
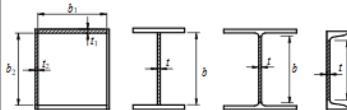
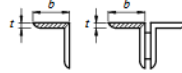
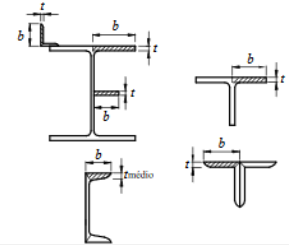
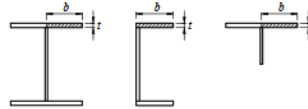
$$\frac{b}{t} \leq 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 0,45 \sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 12,88$$

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

$$Q_s = 1,00$$

$$\text{Portanto } Q = 1,00$$

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 travessamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	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

$$Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 100}{(0,7 \cdot 200)^2} = 1032,28 \text{ kN}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \rightarrow I_y = r_y^2 \cdot A = 3,73^2 \cdot 18,58 = 258,5 \text{ cm}^4$$

$$Ne_y = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad Ne_y = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 258,5}{(0,7 \cdot 400)^2} = 667,11 \text{ kN}$$

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

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar χ (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ_0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1,0 \cdot 18,58 \cdot 25}{667,11}} = 0,8344$$

5.3.3 Fator de redução χ

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

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

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

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} = 0,658^{0,8344^2} = 0,7472$$

Passo 4 – Preencher a fórmula:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,7472 \cdot 1 \cdot 18,58 \cdot 25}{1,1} = 315,52 \text{ kN}$$

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.

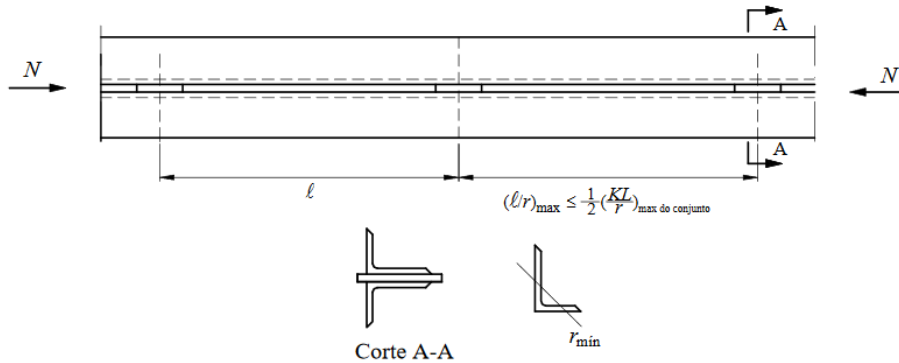


Figura 12 — Barra composta comprimida

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

$$\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} = \frac{0,7 \cdot 200}{2,36} = 59,32$$

$$\lambda_y = \frac{k_y \cdot L_y}{r_y} = \frac{0,7 \cdot 400}{3,73} = 75,06$$

$$\frac{l}{1,50} = \frac{1}{2} \cdot 75,06$$

$$l = 56,3 \text{ cm}$$

PRÉ DIMENSIONAMENTO

Fy = 25 kN/cm²																			
(K L)/r	Lambda0	X	σmax (kN/cm²)	(K L)/r	Lambda0	X	σmax (kN/cm²)	(K L)/r	Lambda0	X	σmax (kN/cm²)	(K L)/r	Lambda0	X	σmax (kN/cm²)	(K L)/r	Lambda0	X	σmax (kN/cm²)
1	0,01	1,00	22,73	41	0,46	0,92	20,83	81	0,90	0,71	16,19	121	1,35	0,47	10,66	161	1,79	0,27	6,22
2	0,02	1,00	22,72	42	0,47	0,91	20,75	82	0,91	0,71	16,05	122	1,36	0,46	10,53	162	1,80	0,27	6,15
3	0,03	1,00	22,72	43	0,48	0,91	20,65	83	0,92	0,70	15,92	123	1,37	0,46	10,39	163	1,81	0,27	6,07
4	0,04	1,00	22,71	44	0,49	0,90	20,56	84	0,93	0,69	15,78	124	1,38	0,45	10,26	164	1,82	0,26	6,00
5	0,06	1,00	22,70	45	0,50	0,90	20,47	85	0,94	0,69	15,64	125	1,39	0,45	10,13	165	1,83	0,26	5,93
6	0,07	1,00	22,68	46	0,51	0,90	20,37	86	0,96	0,68	15,50	126	1,40	0,44	10,00	166	1,85	0,26	5,85
7	0,08	1,00	22,67	47	0,52	0,89	20,27	87	0,97	0,68	15,37	127	1,41	0,43	9,87	167	1,86	0,25	5,78
8	0,09	1,00	22,65	48	0,53	0,89	20,17	88	0,98	0,67	15,23	128	1,42	0,43	9,74	168	1,87	0,25	5,72
9	0,10	1,00	22,63	49	0,54	0,88	20,07	89	0,99	0,66	15,09	129	1,43	0,42	9,61	169	1,88	0,25	5,65
10	0,11	0,99	22,61	50	0,56	0,88	19,97	90	1,00	0,66	14,95	130	1,45	0,42	9,48	170	1,89	0,25	5,58
11	0,12	0,99	22,59	51	0,57	0,87	19,87	91	1,01	0,65	14,81	131	1,46	0,41	9,36	171	1,90	0,24	5,52
12	0,13	0,99	22,56	52	0,58	0,87	19,76	92	1,02	0,65	14,67	132	1,47	0,41	9,23	172	1,91	0,24	5,45
13	0,14	0,99	22,53	53	0,59	0,86	19,65	93	1,03	0,64	14,53	133	1,48	0,40	9,10	173	1,92	0,24	5,39
14	0,16	0,99	22,50	54	0,60	0,86	19,55	94	1,04	0,63	14,39	134	1,49	0,40	8,98	174	1,93	0,23	5,33
15	0,17	0,99	22,46	55	0,61	0,86	19,44	95	1,06	0,63	14,25	135	1,50	0,39	8,85	175	1,95	0,23	5,27
16	0,18	0,99	22,43	56	0,62	0,85	19,32	96	1,07	0,62	14,11	136	1,51	0,38	8,72	176	1,96	0,23	5,21
17	0,19	0,99	22,39	57	0,63	0,85	19,21	97	1,08	0,61	13,97	137	1,52	0,38	8,59	177	1,97	0,23	5,15
18	0,20	0,98	22,35	58	0,64	0,84	19,10	98	1,09	0,61	13,83	138	1,53	0,37	8,47	178	1,98	0,22	5,09
19	0,21	0,98	22,31	59	0,66	0,84	18,98	99	1,10	0,60	13,69	139	1,55	0,37	8,35	179	1,99	0,22	5,03
20	0,22	0,98	22,26	60	0,67	0,83	18,87	100	1,11	0,60	13,55	140	1,56	0,36	8,23	180	2,00	0,22	4,98
21	0,23	0,98	22,21	61	0,68	0,82	18,75	101	1,12	0,59	13,41	141	1,57	0,36	8,11	181	2,01	0,22	4,92
22	0,24	0,98	22,17	62	0,69	0,82	18,63	102	1,13	0,58	13,27	142	1,58	0,35	8,00	182	2,02	0,21	4,87
23	0,26	0,97	22,11	63	0,70	0,81	18,51	103	1,14	0,58	13,13	143	1,59	0,35	7,89	183	2,03	0,21	4,82
24	0,27	0,97	22,06	64	0,71	0,81	18,39	104	1,16	0,57	12,99	144	1,60	0,34	7,78	184	2,05	0,21	4,76
25	0,28	0,97	22,00	65	0,72	0,80	18,27	105	1,17	0,57	12,85	145	1,61	0,34	7,67	185	2,06	0,21	4,71
26	0,29	0,97	21,95	66	0,73	0,80	18,14	106	1,18	0,56	12,71	146	1,62	0,33	7,57	186	2,07	0,21	4,66
27	0,30	0,96	21,89	67	0,74	0,79	18,02	107	1,19	0,55	12,57	147	1,63	0,33	7,46	187	2,08	0,20	4,61
28	0,31	0,96	21,82	68	0,76	0,79	17,89	108	1,20	0,55	12,43	148	1,65	0,32	7,36	188	2,09	0,20	4,56
29	0,32	0,96	21,76	69	0,77	0,78	17,77	109	1,21	0,54	12,29	149	1,66	0,32	7,27	189	2,10	0,20	4,52
30	0,33	0,95	21,69	70	0,78	0,78	17,64	110	1,22	0,53	12,16	150	1,67	0,32	7,17	190	2,11	0,20	4,47
31	0,34	0,95	21,63	71	0,79	0,77	17,51	111	1,23	0,53	12,02	151	1,68	0,31	7,07	191	2,12	0,19	4,42
32	0,36	0,95	21,55	72	0,80	0,76	17,38	112	1,24	0,52	11,88	152	1,69	0,31	6,98	192	2,13	0,19	4,38
33	0,37	0,95	21,48	73	0,81	0,76	17,25	113	1,26	0,52	11,74	153	1,70	0,30	6,89	193	2,15	0,19	4,33
34	0,38	0,94	21,41	74	0,82	0,75	17,12	114	1,27	0,51	11,61	154	1,71	0,30	6,80	194	2,16	0,19	4,29
35	0,39	0,94	21,33	75	0,83	0,75	16,99	115	1,28	0,50	11,47	155	1,72	0,30	6,71	195	2,17	0,19	4,24
36	0,40	0,94	21,25	76	0,84	0,74	16,86	116	1,29	0,50	11,33	156	1,73	0,29	6,63	196	2,18	0,18	4,20
37	0,41	0,93	21,17	77	0,86	0,74	16,73	117	1,30	0,49	11,20	157	1,75	0,29	6,54	197	2,19	0,18	4,16
38	0,42	0,93	21,09	78	0,87	0,73	16,59	118	1,31	0,49	11,06	158	1,76	0,28	6,46	198	2,20	0,18	4,11
39	0,43	0,92	21,01	79	0,88	0,72	16,46	119	1,32	0,48	10,93	159	1,77	0,28	6,38	199	2,21	0,18	4,07
40	0,44	0,92	20,92	80	0,89	0,72	16,32	120	1,33	0,47	10,79	160	1,78	0,28	6,30	200	2,22	0,18	4,03

PRÉ DIMENSIONAMENTO

Fy = 34,5 kN/cm²																			
(K/L)/r	Lambda0	X	σmax (kN/cm²)	(K/L)/r	Lambda0	X	σmax (kN/cm²)	(K/L)/r	Lambda0	X	σmax (kN/cm²)	(K/L)/r	Lambda0	X	σmax (kN/cm²)	(K/L)/r	Lambda0	X	σmax (kN/cm²)
1	0,01	1,00	31,36	41	0,54	0,89	27,82	81	1,06	0,63	19,64	121	1,58	0,35	11,02	161	2,10	0,20	6,22
2	0,03	1,00	31,35	42	0,55	0,88	27,65	82	1,07	0,62	19,41	122	1,59	0,35	10,84	162	2,12	0,20	6,15
3	0,04	1,00	31,34	43	0,56	0,88	27,49	83	1,08	0,61	19,18	123	1,61	0,34	10,66	163	2,13	0,19	6,07
4	0,05	1,00	31,33	44	0,57	0,87	27,32	84	1,10	0,60	18,95	124	1,62	0,33	10,49	164	2,14	0,19	6,00
5	0,07	1,00	31,31	45	0,59	0,87	27,14	85	1,11	0,60	18,73	125	1,63	0,33	10,32	165	2,15	0,19	5,93
6	0,08	1,00	31,28	46	0,60	0,86	26,97	86	1,12	0,59	18,50	126	1,65	0,32	10,16	166	2,17	0,19	5,85
7	0,09	1,00	31,25	47	0,61	0,85	26,79	87	1,14	0,58	18,27	127	1,66	0,32	10,00	167	2,18	0,18	5,78
8	0,10	1,00	31,22	48	0,63	0,85	26,61	88	1,15	0,58	18,05	128	1,67	0,31	9,85	168	2,19	0,18	5,72
9	0,12	0,99	31,18	49	0,64	0,84	26,42	89	1,16	0,57	17,82	129	1,68	0,31	9,69	169	2,21	0,18	5,65
10	0,13	0,99	31,14	50	0,65	0,84	26,24	90	1,18	0,56	17,59	130	1,70	0,30	9,54	170	2,22	0,18	5,58
11	0,14	0,99	31,09	51	0,67	0,83	26,05	91	1,19	0,55	17,37	131	1,71	0,30	9,40	171	2,23	0,18	5,52
12	0,16	0,99	31,04	52	0,68	0,82	25,86	92	1,20	0,55	17,14	132	1,72	0,30	9,26	172	2,25	0,17	5,45
13	0,17	0,99	30,99	53	0,69	0,82	25,67	93	1,21	0,54	16,92	133	1,74	0,29	9,12	173	2,26	0,17	5,39
14	0,18	0,99	30,93	54	0,71	0,81	25,47	94	1,23	0,53	16,69	134	1,75	0,29	8,98	174	2,27	0,17	5,33
15	0,20	0,98	30,86	55	0,72	0,81	25,27	95	1,24	0,53	16,47	135	1,76	0,28	8,85	175	2,29	0,17	5,27
16	0,21	0,98	30,80	56	0,73	0,80	25,07	96	1,25	0,52	16,25	136	1,78	0,28	8,72	176	2,30	0,17	5,21
17	0,22	0,98	30,72	57	0,74	0,79	24,87	97	1,27	0,51	16,02	137	1,79	0,27	8,59	177	2,31	0,16	5,15
18	0,24	0,98	30,65	58	0,76	0,79	24,67	98	1,28	0,50	15,80	138	1,80	0,27	8,47	178	2,32	0,16	5,09
19	0,25	0,97	30,57	59	0,77	0,78	24,46	99	1,29	0,50	15,58	139	1,82	0,27	8,35	179	2,34	0,16	5,03
20	0,26	0,97	30,48	60	0,78	0,77	24,26	100	1,31	0,49	15,36	140	1,83	0,26	8,23	180	2,35	0,16	4,98
21	0,27	0,97	30,39	61	0,80	0,77	24,05	101	1,32	0,48	15,14	141	1,84	0,26	8,11	181	2,36	0,16	4,92
22	0,29	0,97	30,30	62	0,81	0,76	23,84	102	1,33	0,48	14,93	142	1,85	0,26	8,00	182	2,38	0,16	4,87
23	0,30	0,96	30,20	63	0,82	0,75	23,63	103	1,34	0,47	14,71	143	1,87	0,25	7,89	183	2,39	0,15	4,82
24	0,31	0,96	30,10	64	0,84	0,75	23,41	104	1,36	0,46	14,49	144	1,88	0,25	7,78	184	2,40	0,15	4,76
25	0,33	0,96	30,00	65	0,85	0,74	23,20	105	1,37	0,46	14,28	145	1,89	0,24	7,67	185	2,42	0,15	4,71
26	0,34	0,95	29,89	66	0,86	0,73	22,98	106	1,38	0,45	14,07	146	1,91	0,24	7,57	186	2,43	0,15	4,66
27	0,35	0,95	29,77	67	0,87	0,73	22,77	107	1,40	0,44	13,85	147	1,92	0,24	7,46	187	2,44	0,15	4,61
28	0,37	0,95	29,66	68	0,89	0,72	22,55	108	1,41	0,43	13,64	148	1,93	0,23	7,36	188	2,45	0,15	4,56
29	0,38	0,94	29,54	69	0,90	0,71	22,33	109	1,42	0,43	13,43	149	1,95	0,23	7,27	189	2,47	0,14	4,52
30	0,39	0,94	29,41	70	0,91	0,70	22,11	110	1,44	0,42	13,22	150	1,96	0,23	7,17	190	2,48	0,14	4,47
31	0,40	0,93	29,28	71	0,93	0,70	21,89	111	1,45	0,42	13,02	151	1,97	0,23	7,07	191	2,49	0,14	4,42
32	0,42	0,93	29,15	72	0,94	0,69	21,66	112	1,46	0,41	12,81	152	1,98	0,22	6,98	192	2,51	0,14	4,38
33	0,43	0,93	29,02	73	0,95	0,68	21,44	113	1,48	0,40	12,61	153	2,00	0,22	6,89	193	2,52	0,14	4,33
34	0,44	0,92	28,88	74	0,97	0,68	21,22	114	1,49	0,40	12,41	154	2,01	0,22	6,80	194	2,53	0,14	4,29
35	0,46	0,92	28,74	75	0,98	0,67	20,99	115	1,50	0,39	12,20	155	2,02	0,21	6,71	195	2,55	0,14	4,24
36	0,47	0,91	28,59	76	0,99	0,66	20,77	116	1,51	0,38	11,99	156	2,04	0,21	6,63	196	2,56	0,13	4,20
37	0,48	0,91	28,44	77	1,01	0,65	20,54	117	1,53	0,38	11,78	157	2,05	0,21	6,54	197	2,57	0,13	4,16
38	0,50	0,90	28,29	78	1,02	0,65	20,32	118	1,54	0,37	11,59	158	2,06	0,21	6,46	198	2,59	0,13	4,11
39	0,51	0,90	28,14	79	1,03	0,64	20,09	119	1,55	0,36	11,39	159	2,08	0,20	6,38	199	2,60	0,13	4,07
40	0,52	0,89	27,98	80	1,04	0,63	19,86	120	1,57	0,36	11,20	160	2,09	0,20	6,30	200	2,61	0,13	4,03

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

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

$$\lambda_x = \frac{kx \cdot Lx}{rx} = \frac{0,7 \cdot 200}{2,36} = 59,32 \text{ OK}$$

$$\lambda_y = \frac{ky \cdot Ly}{ry} = \frac{0,7 \cdot 400}{3,73} = 75,06 \text{ OK}$$

$$\sigma_{max} = 16,99 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} \quad 16,99 = \frac{N}{18,58}$$

$$N = 315,67 \text{ kN } (\pm 10\%)$$

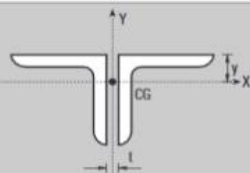


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais
Propriedades para dimensionamento

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	1,90
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	2,42
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"	40,00	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