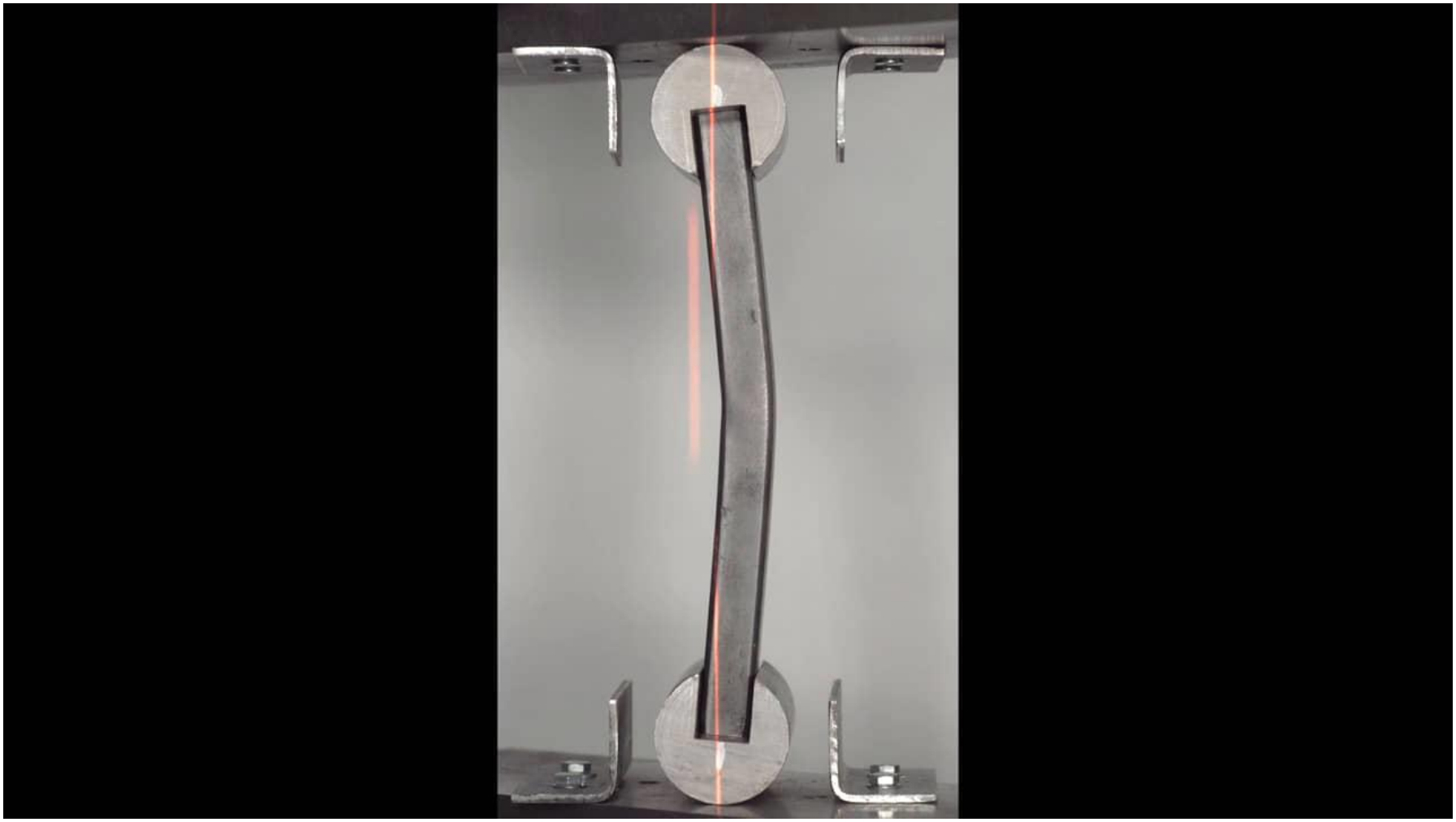
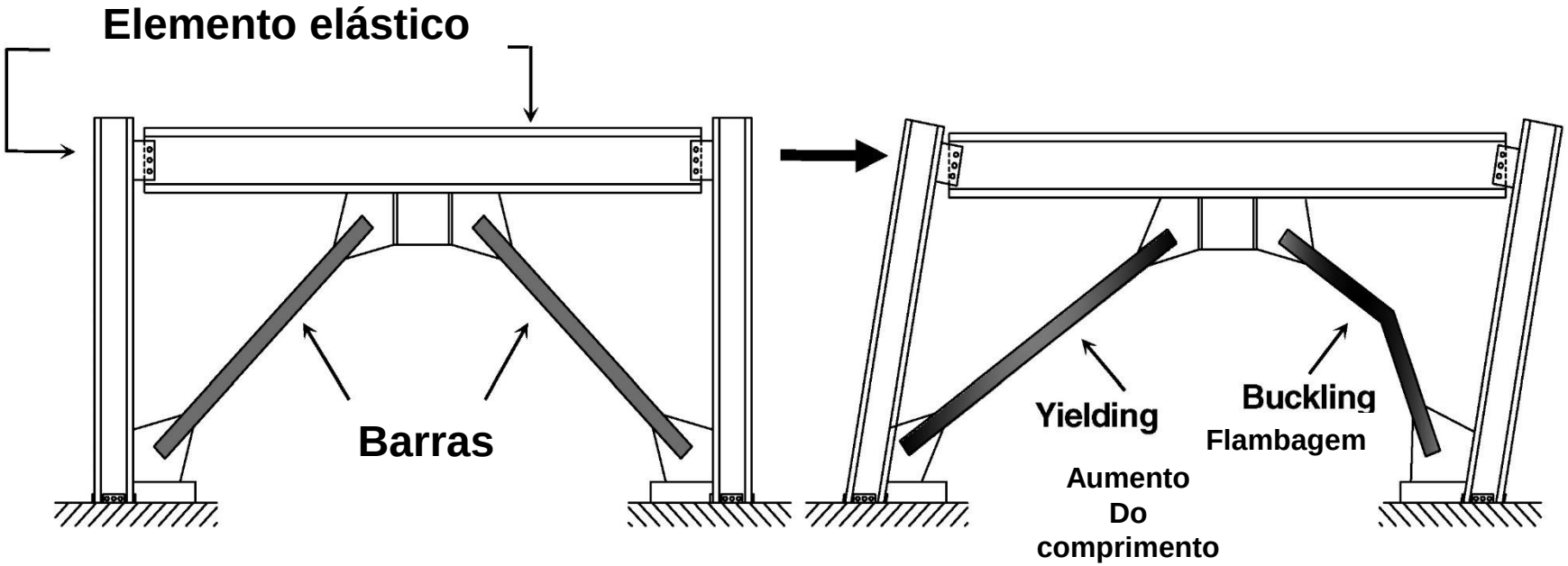
Barras comprimidas

Barras comprimidas:



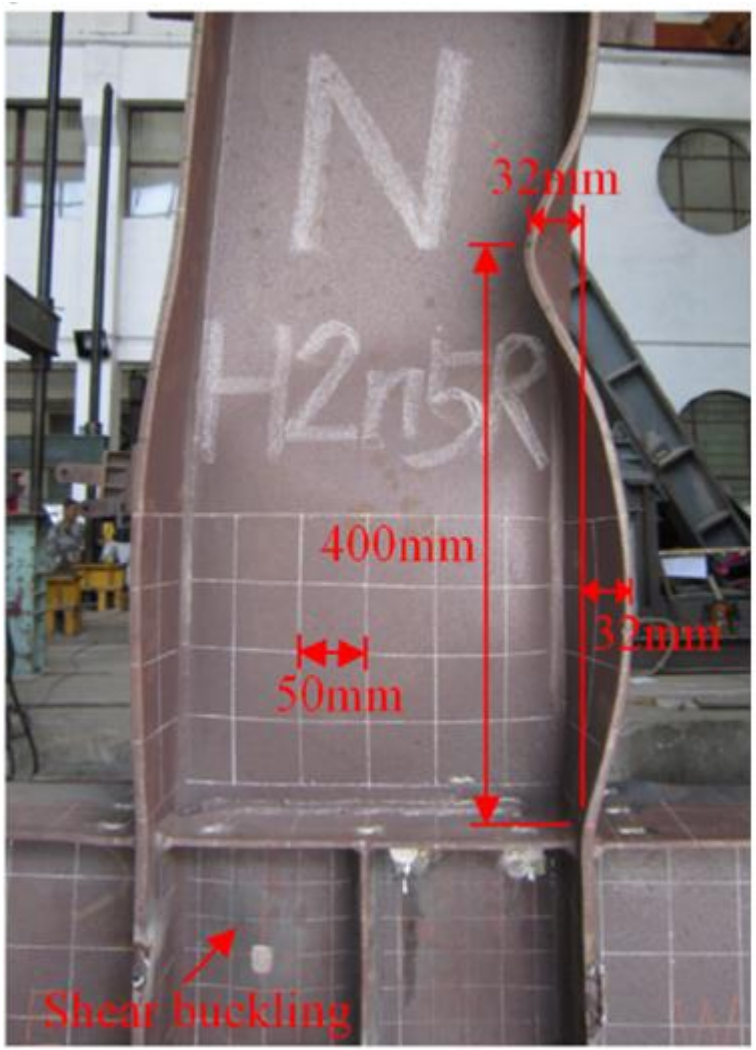
Barras comprimidas:

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.

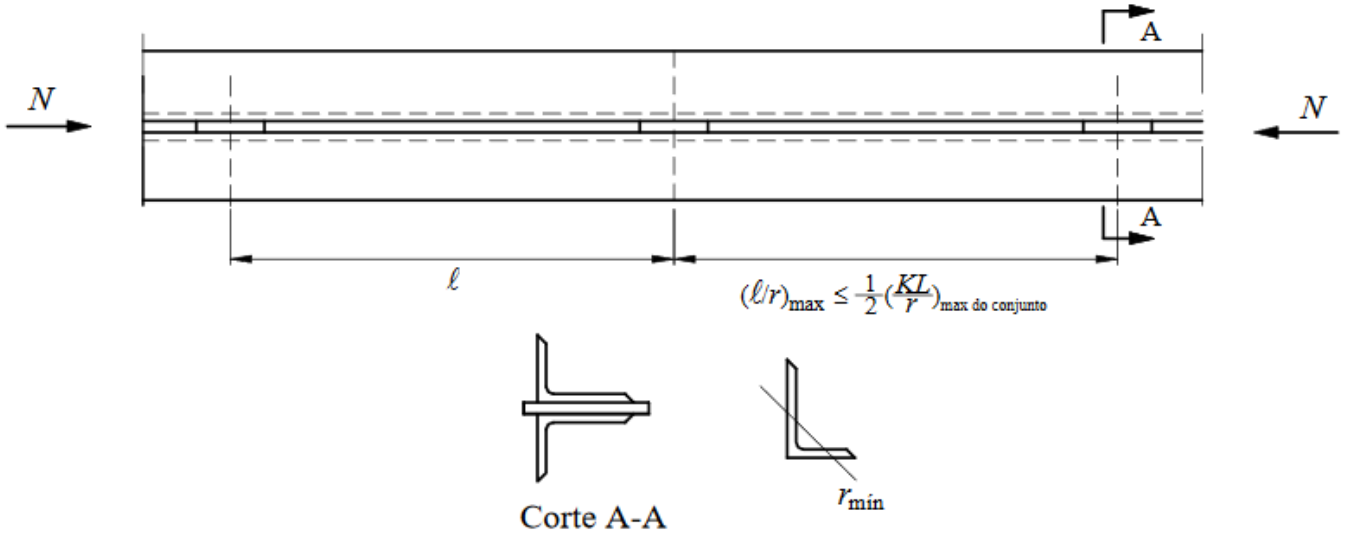
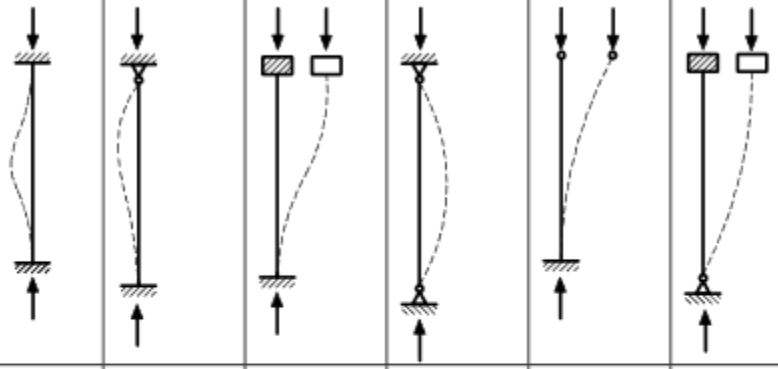


Figura 12 — Barra composta comprimida

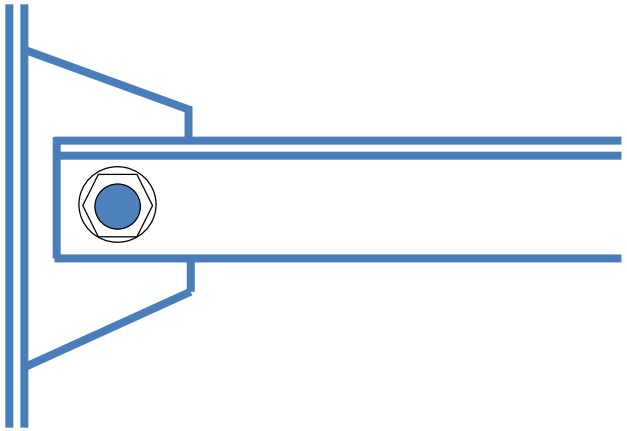
Limitação da Esbeltez:

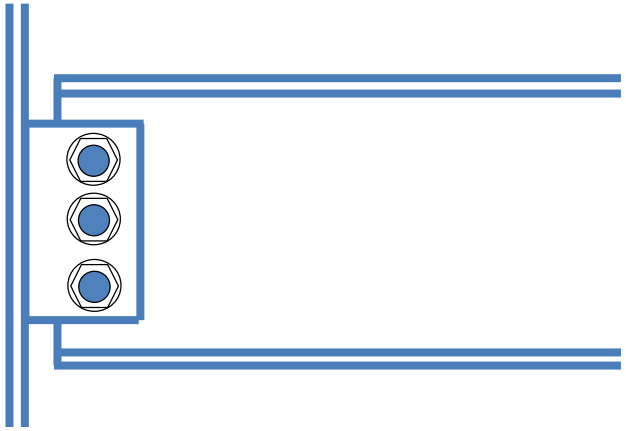
Tabela E.1 — Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados

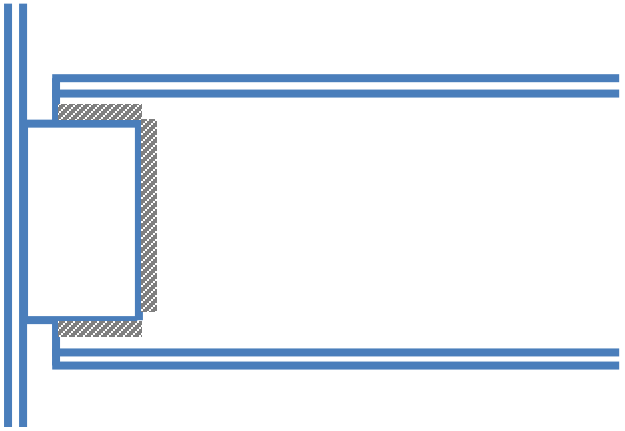
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio		Rotação e translação impedidas Rotação livre, translação impedida Rotação impedida,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

Tipos de vinculações:

Articulado: Permite giro em um plano. Não transfere momentos significativos para as peças base

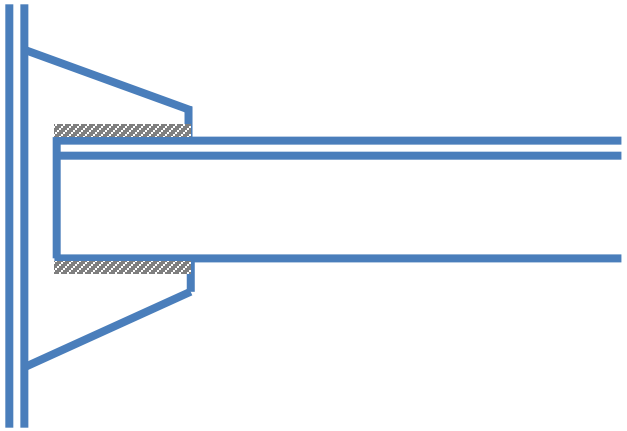


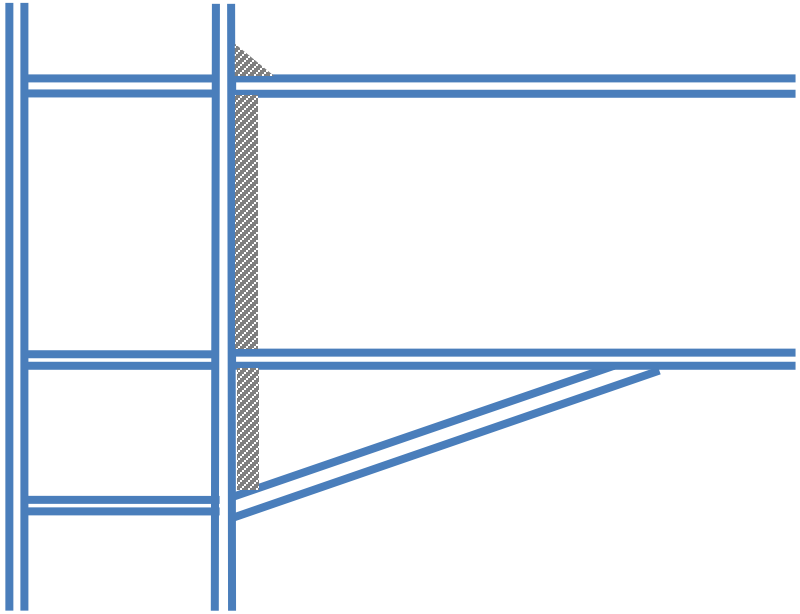


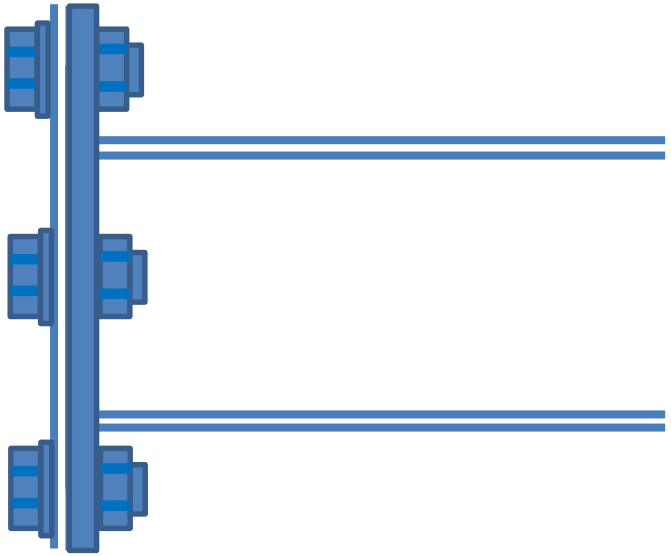


Tipos de vinculações:

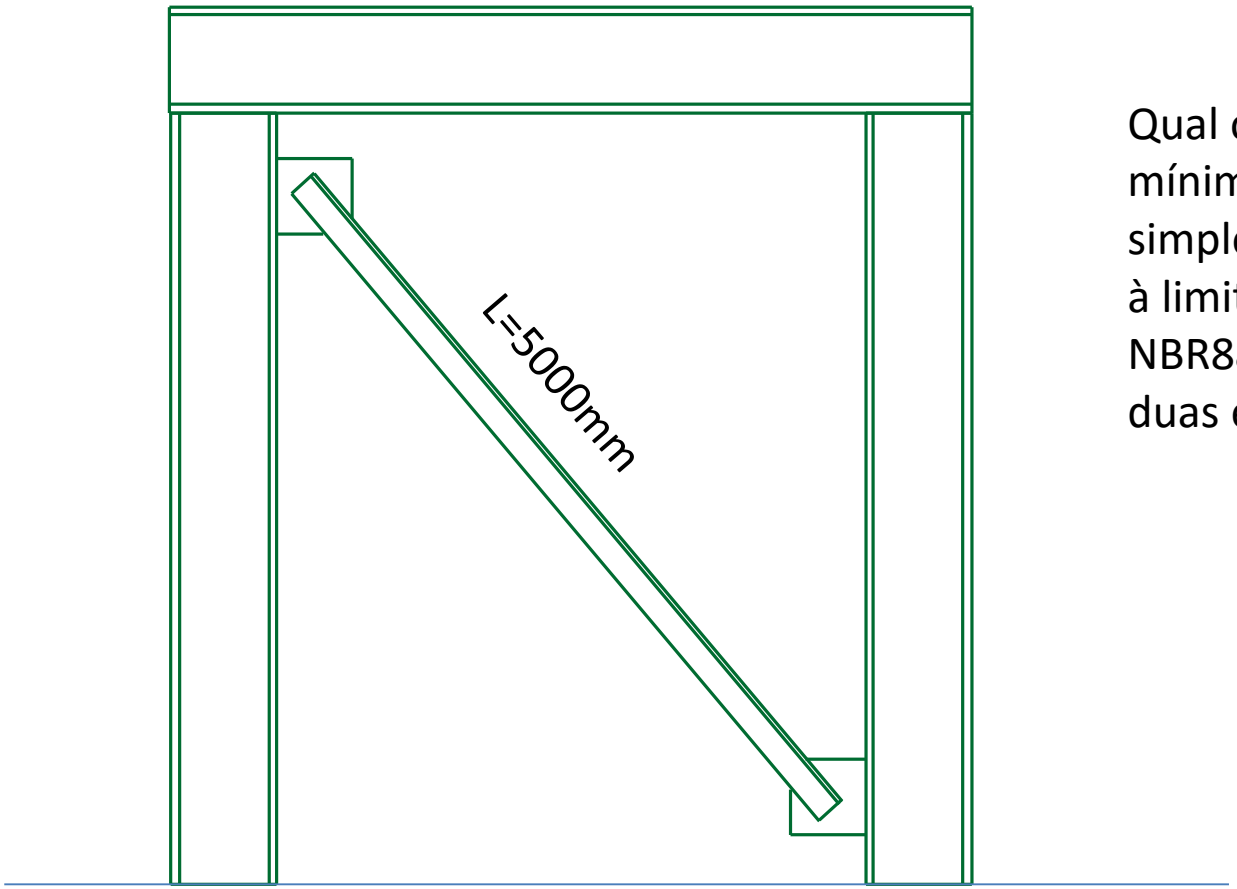
Engastado: Não permite giro ou translação. Transfere momentos para as peças base





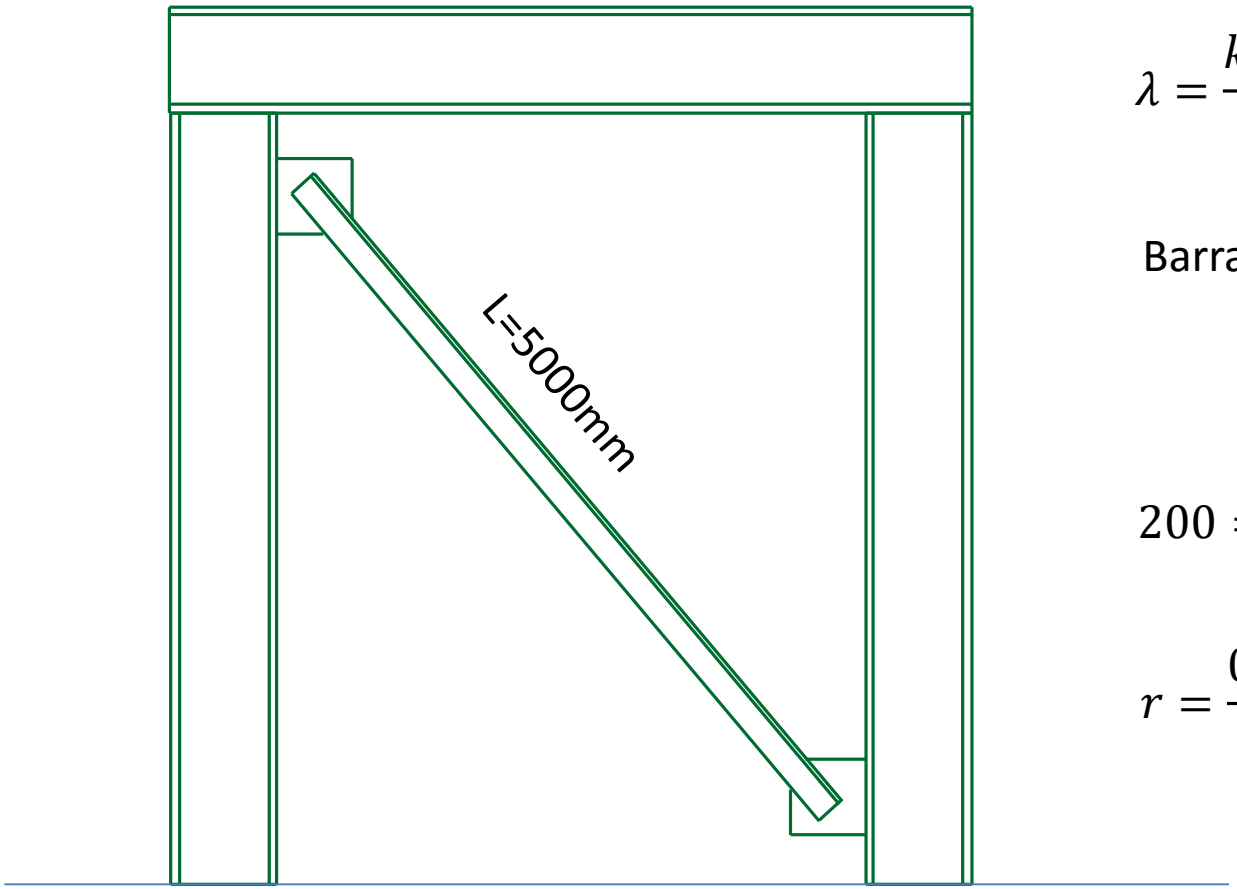


Exemplo:



Qual o raio de giração Rx mínimo para que a cantoneira simples de abas iguais atenda à limitação de esbeltez da NBR8800/08 (considerar as duas extremidades soldadas)

Exemplo:



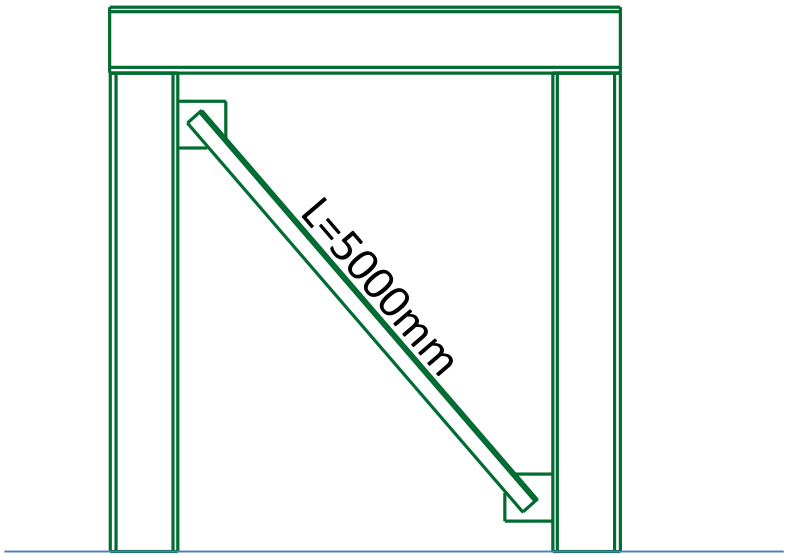
$$\lambda = \frac{k.L}{r} \leq 200$$

Barra bi-engastada: k=0,5

$$200 = \frac{0{,}5.500}{r}$$

$$r = \frac{0{,}5.500}{200}$$

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



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

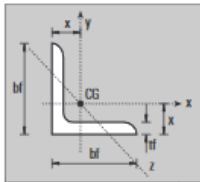
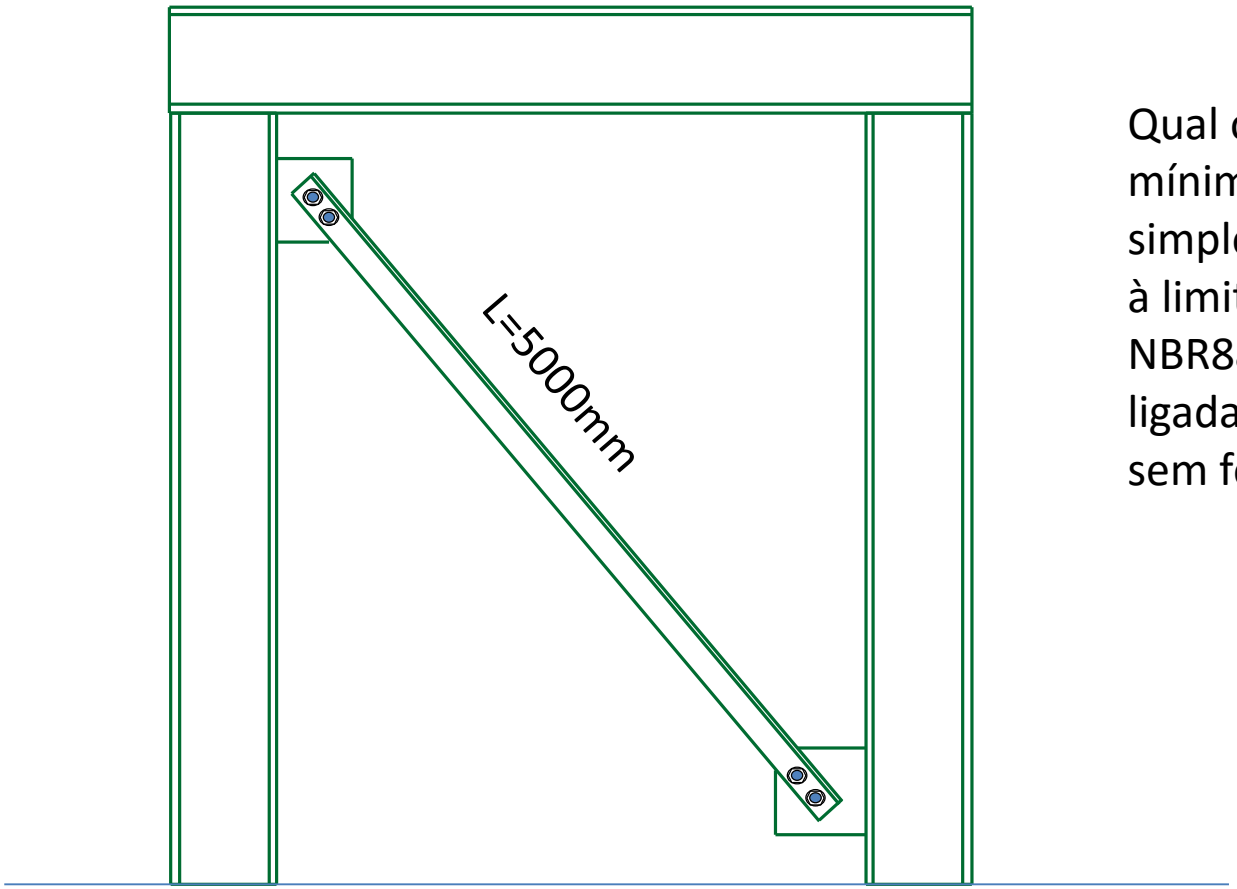


Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais

Propriedades para dimensionamento

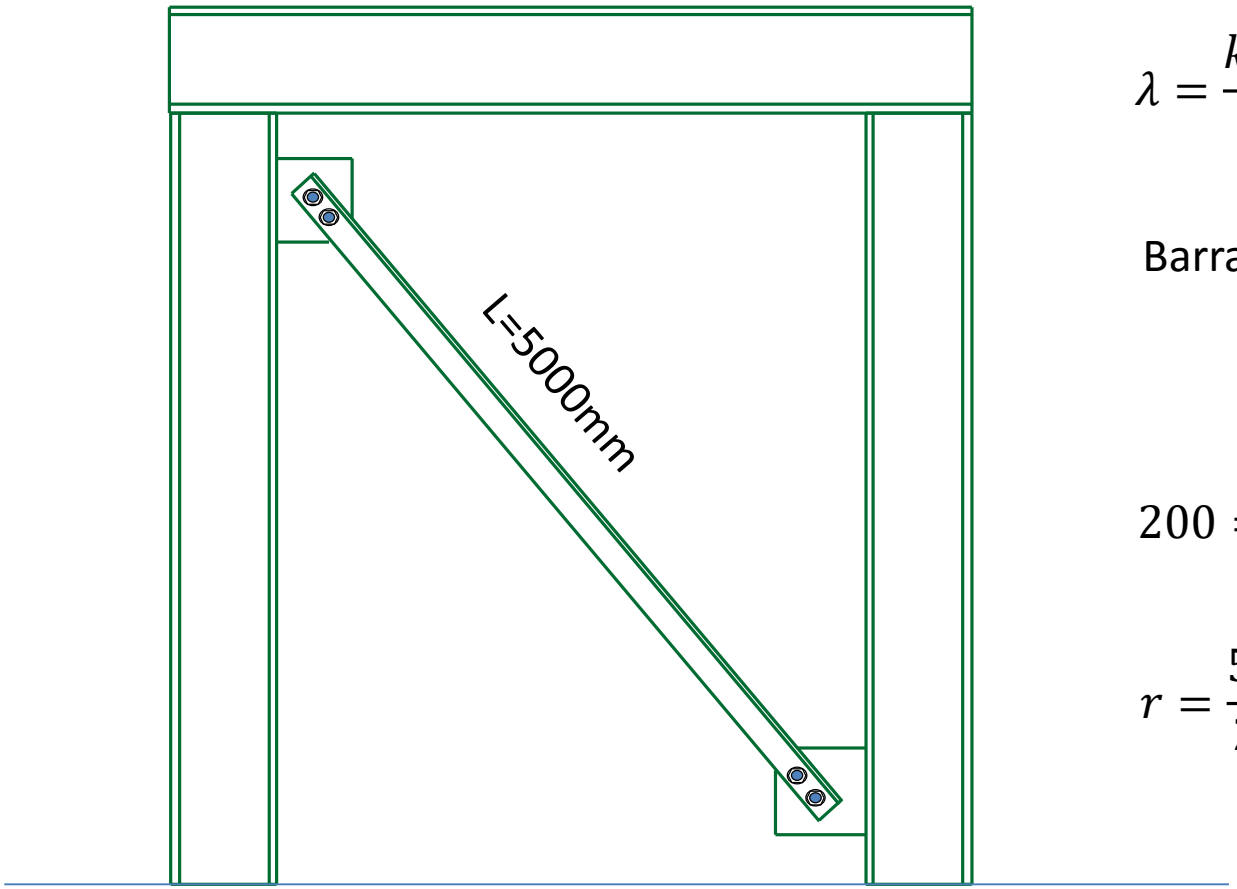
b_f		P	A	t_f		$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	$r_x = r_y$	$r_{z\,min}$	x
pol	cm	kg/m	cm²	pol	cm	cm⁴	cm³	cm	cm	cm
1/2"	1,270	0,55	0,70	1/8"	0,317	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,588	0,71	0,90	1/8"	0,317	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,905	0,87	1,11	1/8"	0,317	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,220	1,04	1,32	1/8"	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	1,89
		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 Rx mínimo para que a cantoneira simples de abas iguais atenda à limitação de esbeltez da NBR8800/08 (Extremidades ligadas por parafuso simples sem força de protensão)

Exemplo:



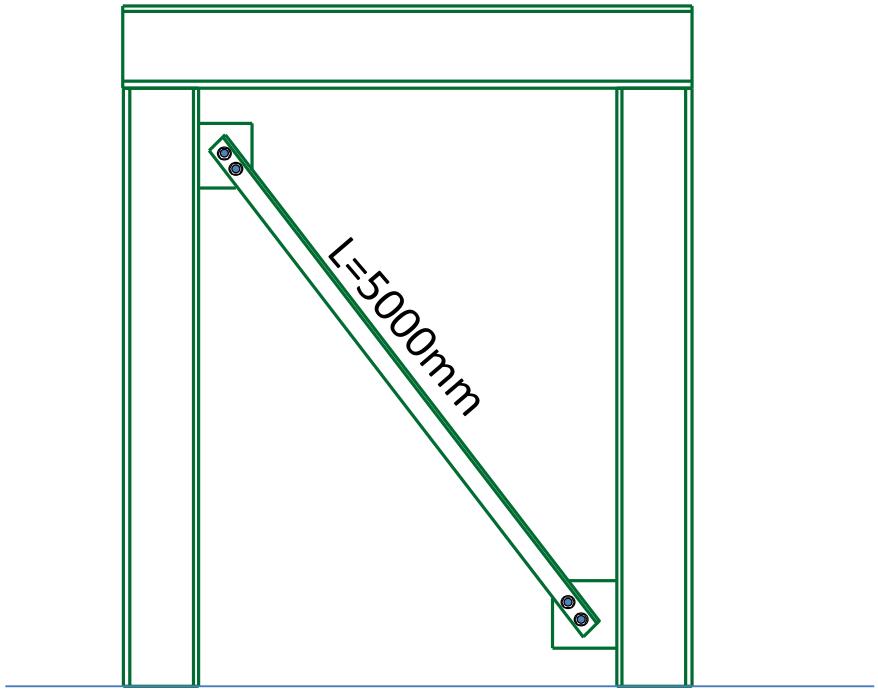
$$\lambda = \frac{k.L}{r} \leq 200$$

Barra bi-articulada: k = 1,0

$$200 = \frac{1{,}0.500}{r}$$

$$r = \frac{500}{200}$$

$$r_{min} = 2{,}5cm$$



$$r_{min} = 2{,}5cm$$

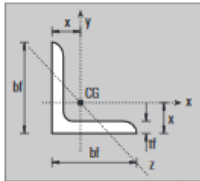
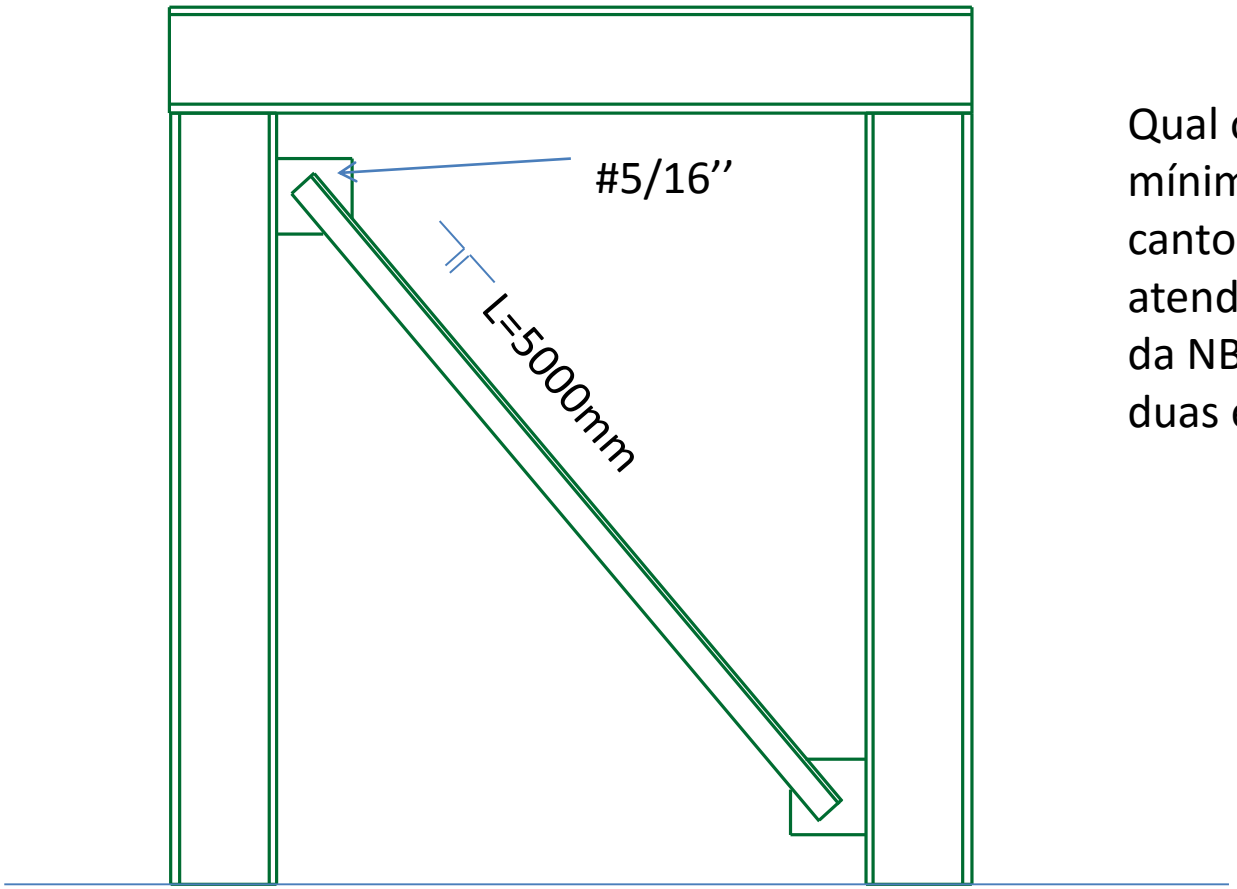


Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais

Propriedades para dimensionamento

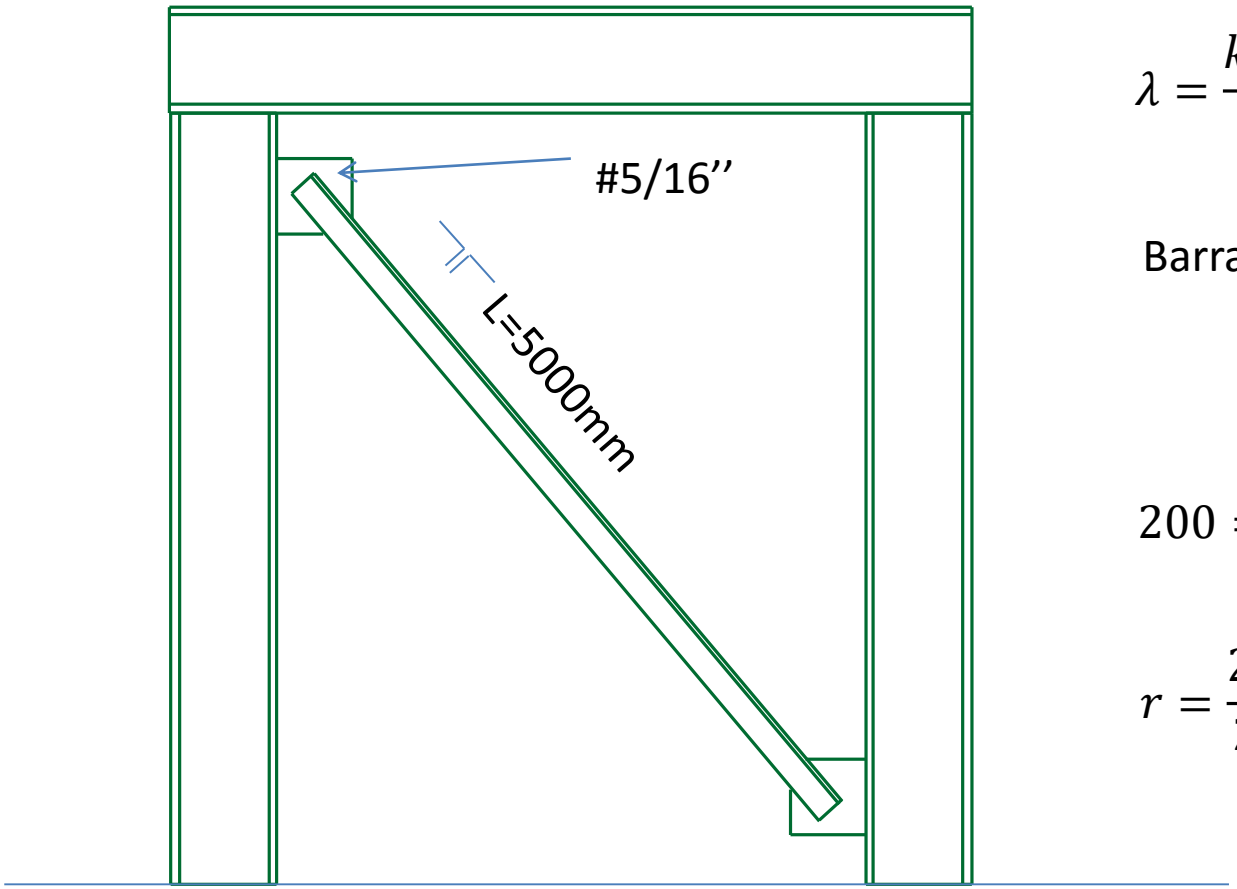
b_f		P	A	t_f		$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	$r_x = r_y$	$r_{z\,min}$	x
pol	cm	kg/m	cm^2	pol	cm	cm^4	cm^3	cm	cm	cm
1/2"	1,270	0,55	0,70	1/8"	0,317	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,588	0,71	0,90	1/8"	0,317	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,905	0,87	1,11	1/8"	0,317	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,220	1,04	1,32	1/8"	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	4,58	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	73,90	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 Rx mínimo para que a dupla cantoneira de abas iguais atenda à limitação de esbeltez da NBR8800/08 (considerar as duas extremidades soldadas)

Exemplo:



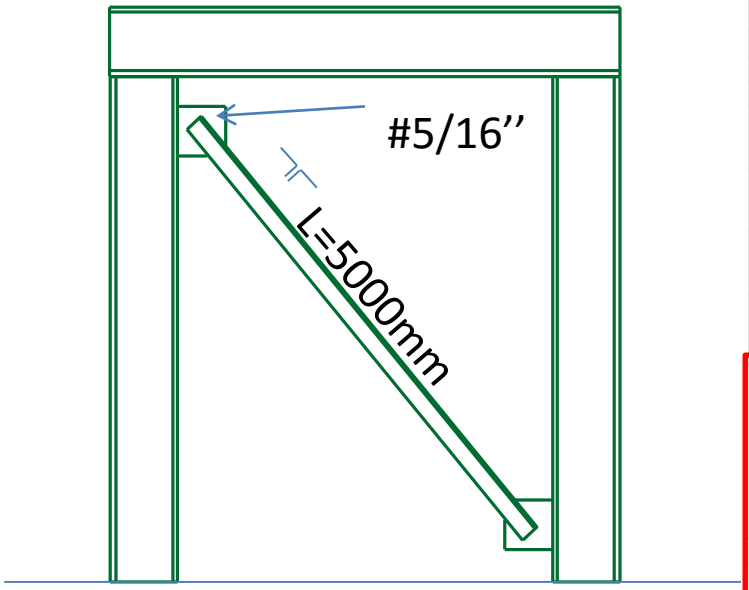
$$\lambda = \frac{k.L}{r} \leq 200$$

Barra bi-engastada: k = 0,5

$$200 = \frac{0{,}5.500}{r}$$

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

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



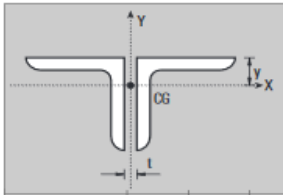
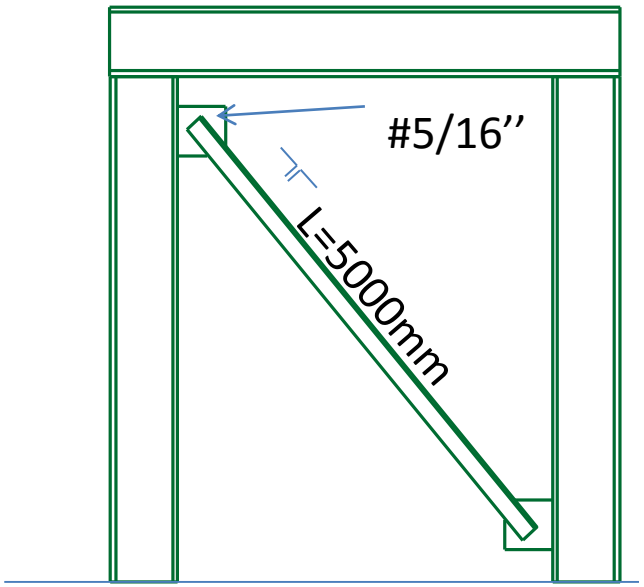


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais

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

Selecionaremos
L1.3/4''X1/8''



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.

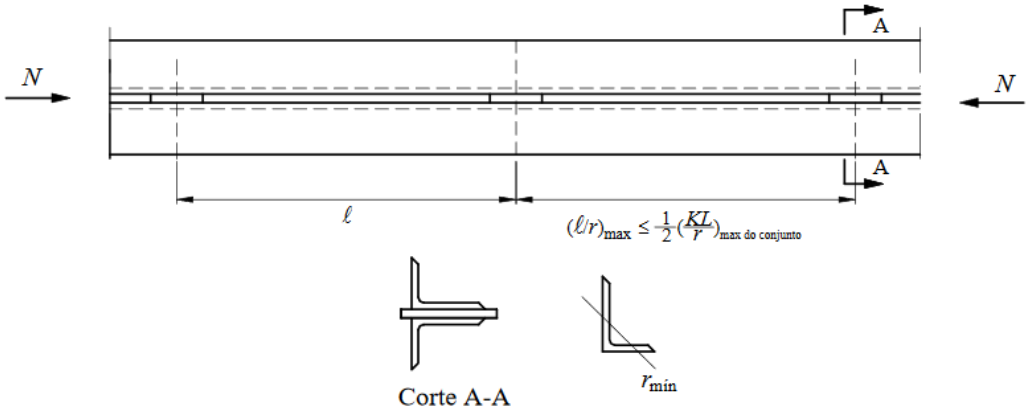


Figura 12 — Barra composta comprimida

Definir a quantidade de chapas espaçadoras

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

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

$$\frac{l}{0{,}89} = \frac{0{,}5.500}{1{,}40}$$

$$l = \frac{1}{2}.\frac{0{,}5.500.0{,}89}{1{,}40} = 79{,}46\text{cm}$$

$$N = \frac{500}{79{,}46} + 2 = 6{,}29 + 2 \sim 8 \text{ chapas}$$

Resistência de Peças Comprimidas:

Condição 2

Fatores de redução

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

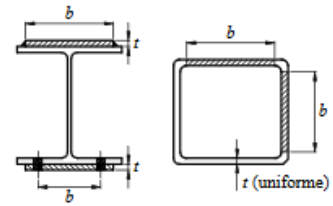
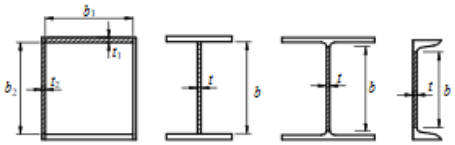
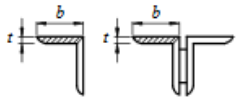
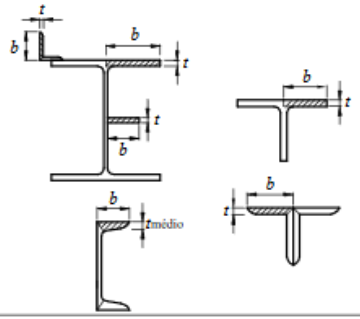
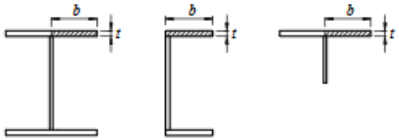
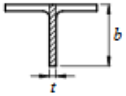
Cálculo de Q:

Q = Qs x Qa

Qa = Elementos AA
Qs = 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.

Cálculo de Qa:

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:

$$\sigma = \chi\, f_y$$

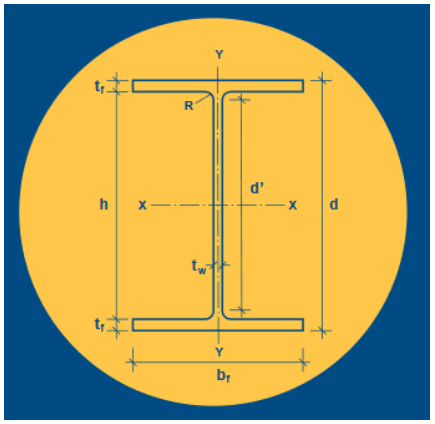
com χ obtido conforme 5.3.3, adotando Q igual a 1,0. Opcionalmente, de forma conservadora, pode-se tomar:

$$\sigma = f_y$$

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 t_w mm	ESPESSURA t_f mm	h mm	d' mm	Área cm²
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

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

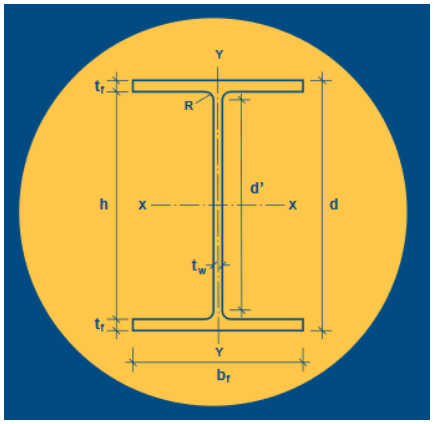
$$\frac{b}{t} lim = 1{,}49. \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

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

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 t_w mm	ESPESSURA t_f mm	h mm	d' mm	Área cm²
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

$$b_{ef} = 1{,}92.\mathrm{t}.\sqrt{\frac{E}{Fy}}\left[1 - \frac{Ca}{\left(\frac{b}{t}\right)}.\sqrt{\frac{E}{Fy}}\right]$$

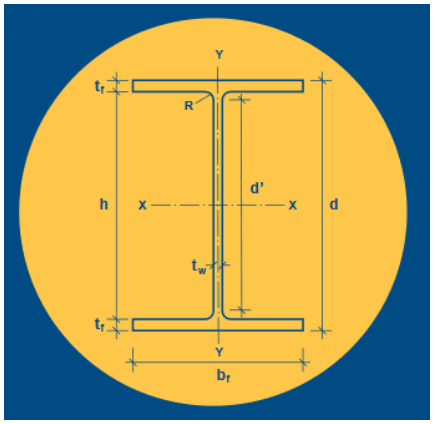
$$b_{ef} = 1{,}92.0{,}43.\sqrt{\frac{20500}{34{,}5}}\left[1 - \frac{0{,}34}{\left(\frac{17}{0{,}43}\right)}.\sqrt{\frac{20500}{34{,}5}}\right]$$

$$b_{ef} = 15{,}9cm\ (93{,}4\%\ do\ real)$$

Cálculo de Qa:

Exemplo:

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



$$A_{ef} = b_{ef}.t_w = 15{,}9cm\,.\,0{,}43cm = 6{,}83cm^2$$

Ag = d'.tw $= 17cm\,.\,0{,}43cm = 7{,}31cm^2$

$$Qa = \frac{A_{ef}}{Ag} = \frac{6{,}83}{7{,}31} = 0{,}934$$

$$b_{ef} = 1{,}92.\,\mathrm{t}.\sqrt{\frac{E}{Fy}}\left[1 - \frac{Ca}{\left(\frac{b}{t}\right)}.\sqrt{\frac{E}{Fy}}\right]$$

$$b_{ef} = 1{,}92.0{,}43.\sqrt{\frac{20500}{34{,}5}}\left[1 - \frac{0{,}34}{\left(\frac{17}{0{,}43}\right)}.\sqrt{\frac{20500}{34{,}5}}\right]$$

$$b_{ef} = 15{,}9cm\ (93{,}4\%\ do\ real)$$

Cálculo de Qs:

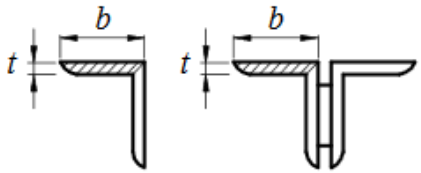
F.2 Elementos comprimidos AL

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:

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

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

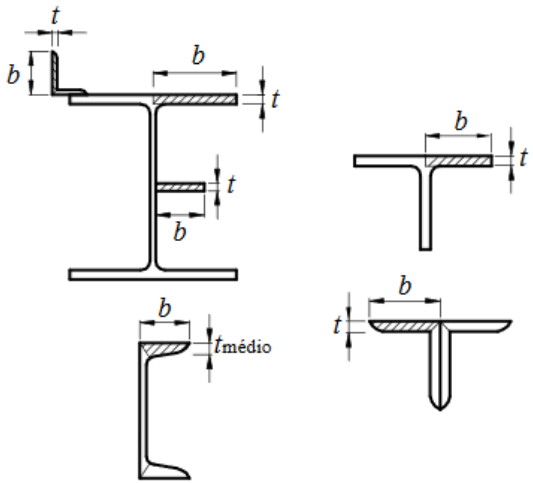
3	— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travejamento		$0{,}45\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Cálculo de Qs:

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 Qs:

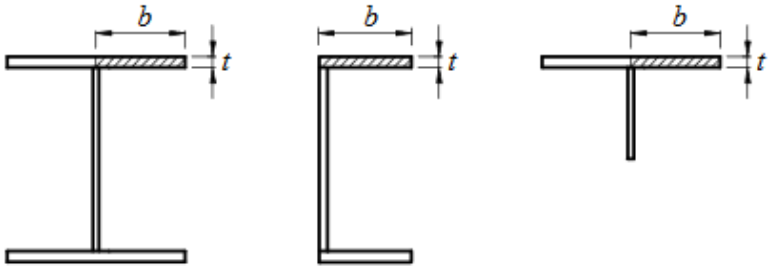
c) elementos do Grupo 5 da Tabela F.1:

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

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

com o coeficiente k_c dado por

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

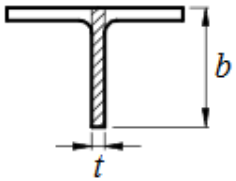
5	— Mesas de seções I, H, T ou U soldadas [a]		$0{,}64\sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$

Cálculo de Qs:

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

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

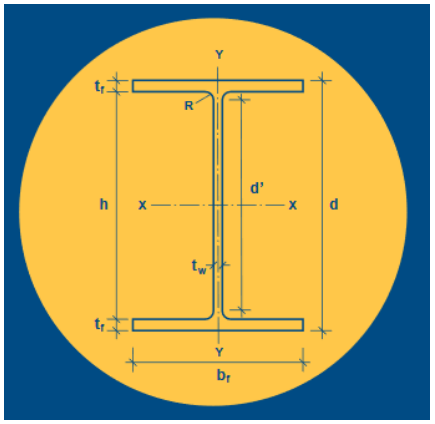
$$Q_s = \frac{0{,}69\,E}{f_y\left(\frac{b}{t}\right)^2}, \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} > 1{,}03\sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

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_f mm	ESPESSURA t_w mm	ESPESSURA t_f mm	h mm	d' mm	Área cm²
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

$$\frac{b}{t} = \frac{(\frac{bf}{2})}{tf} = \frac{50}{5{,}2} = 9{,}61$$

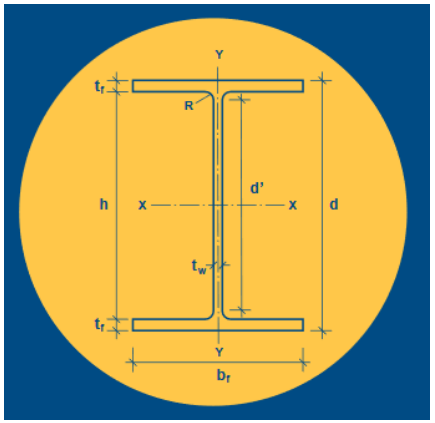
$$\frac{b}{t} lim = 0{,}56. \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

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

QS= 1,00

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	Massa Linear	d	b_f	ESPESSURA		h	d'	Área	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r_t	I_t	ESBELTEZ		C_w	u	BITOLA
				t_w	t_f				I_x	W_x	r_x	Z_x	I_y	W_y	r_y	Z_y			MESA - λ_f	ALMA - λ_w			
mm x kg/m	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm²	cm⁴	cm³	cm	cm³	cm⁴	cm³	cm	cm³	cm	cm⁴	$b_f/2t_f$	d'/t_w	cm⁶	m²/m	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

Cálculo de Q:

Q = Qs x Qa

Q = 0,934 x 1,00 = 0,934

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

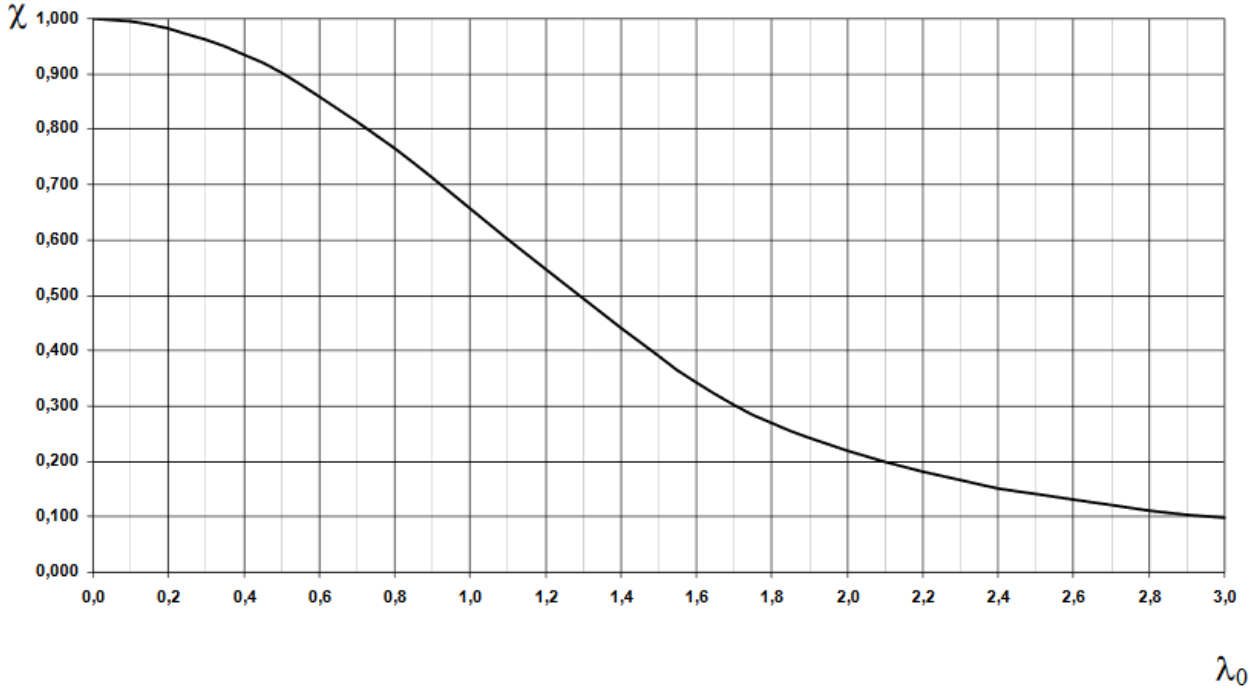
$$N_{rd} = \frac{\chi \, . \, 0,934 \, . \, 19,4 \, . \, 34,5}{1,1}$$

Cálculo de X:

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 X:



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

Cálculo de λo:

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:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2}\left[\frac{\pi^2 E\,C_w}{(K_z L_z)^2} + G\,J\right] \qquad r_0 = \sqrt{r_x{}^2 + r_y{}^2 + x^2 + y^2}$$

Cálculo de λo:

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 a mesa de 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

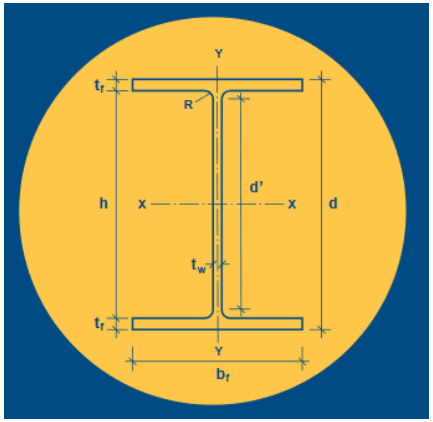


TABELA DE BITOLAS

BITOLA	Massa Linear	d	b_f	ESPESSURA		h	d'	Área	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r_t	I_t	ESBELTEZ		C_w	u	BITOLA
				t_w	t_f				I_x	W_x	r_x	Z_x	I_y	W_y	r_y	Z_y			MESA - λ_f	ALMA - λ_w			
mm x kg/m	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm²	cm⁴	cm³	cm	cm³	cm⁴	cm³	cm	cm³	cm	cm⁴	$b_f/2t_f$	d'/t_w	cm⁶	m²/m	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

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

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

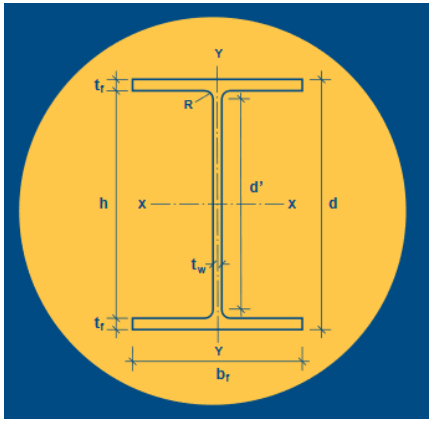
$$N_{ey} = \frac{\pi^2 . E . Iy}{(ky . Ly)^2} = \frac{\pi^2 . 20500 . 87}{(1{,}0 \,.\, 350)^2} = 143{,}69kN$$

$$N_{Ez} = \frac{\frac{\pi^2 . E . C_w}{(K_z L_z)^2} + G . I_t}{(r_0)^2} = \frac{\frac{\pi^2 . 20500.8222}{(350)^2} + 7700.2{,}05}{(8{,}47)^2} = 409{,}3\ kN$$

Seleciona-se
o caso mais crítico

Cálculo de X:

Exemplo:



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

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q.Ag.Fy}{Ne}} = \sqrt{\frac{0{,}934.19{,}4.34{,}5}{143{,}69}} = 2{,}08$$

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

$$X = 0{,}202$$

Cálculo de X:

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 X:

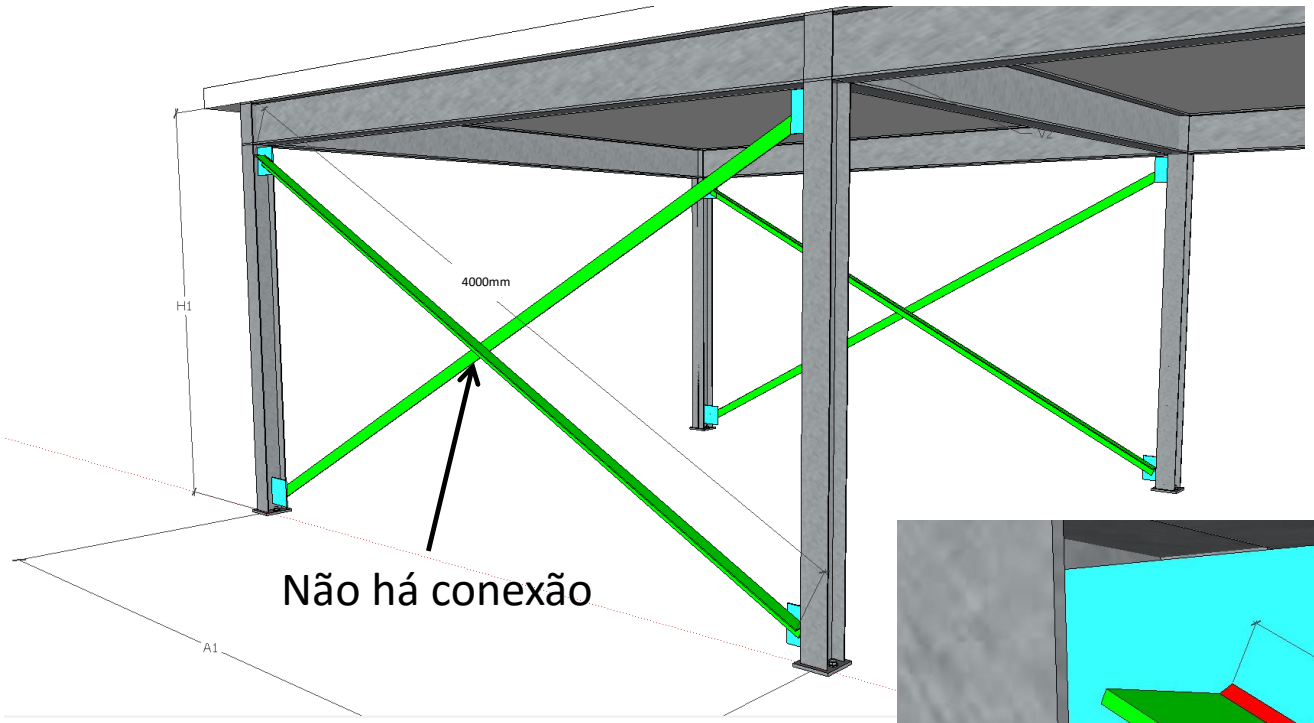
$$N_{rd} = \frac{\chi . Q . A_g . F_y}{1{,}1}$$

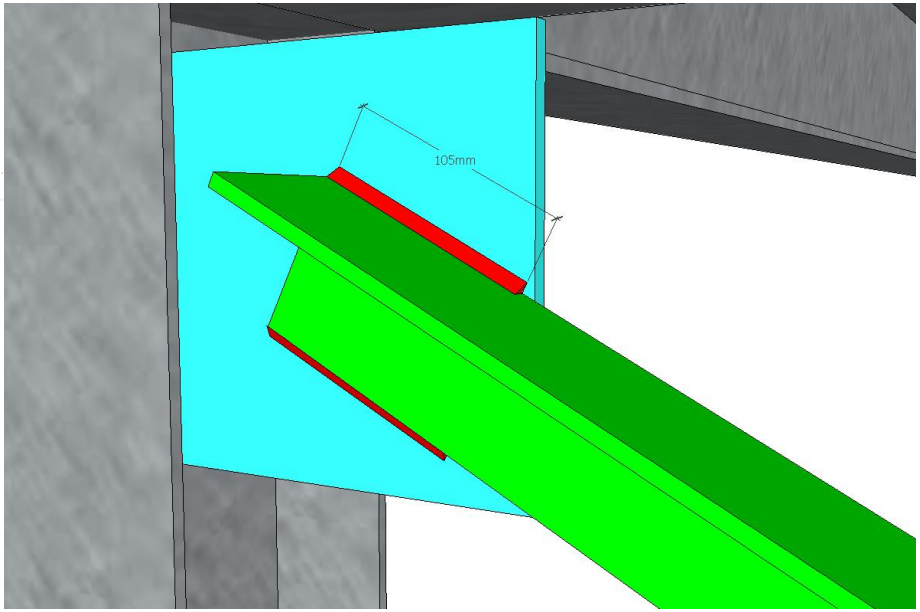
$$N_{rd} = \frac{0{,}203 \,.\, 0{,}934 \,.\, 19{,}4 \,.\, 34{,}5}{1{,}1}$$

$$N_{rd} = 115{,}36 kN$$

Máxima carga de compressão axial que pode ser aplicada no perfil W200X15, com 7m de comprimento de flambagem em X e 3,5m de comprimento de flambagem em Y e 3,5m de comprimento de flambagem à torção

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:

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

$$\lambda = \frac{k.L}{r} = \frac{0{,}5.400}{1{,}50} = 133{,}33 \; OK$$

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

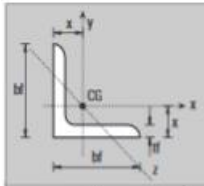


Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais

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

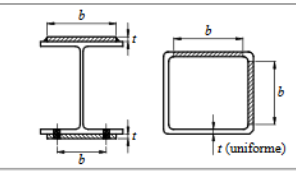
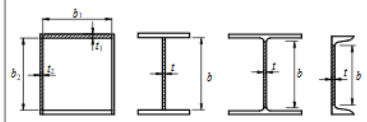
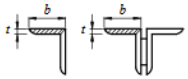
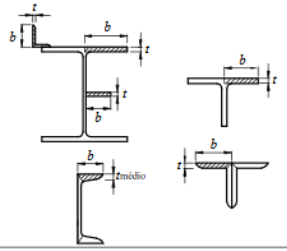
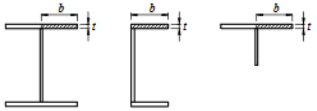
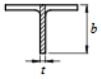
$$\frac{b}{t} \leq 0{,}45\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow 0{,}45\sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 12{,}88$$

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

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

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

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

$$K_{x1}L_{x1} = 32.2{,}36 + 1{,}25.400 = 575{,}52$$

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

$$Ne_x = \frac{\pi^2.20500.50}{(575{,}52)^2} = 30{,}54\ kN$$

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

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q.A_g.F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1{,}0\ .\ 9{,}29.25}{30{,}54}} = 2{,}75$$

5.3.3 Fator de redução χ

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

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

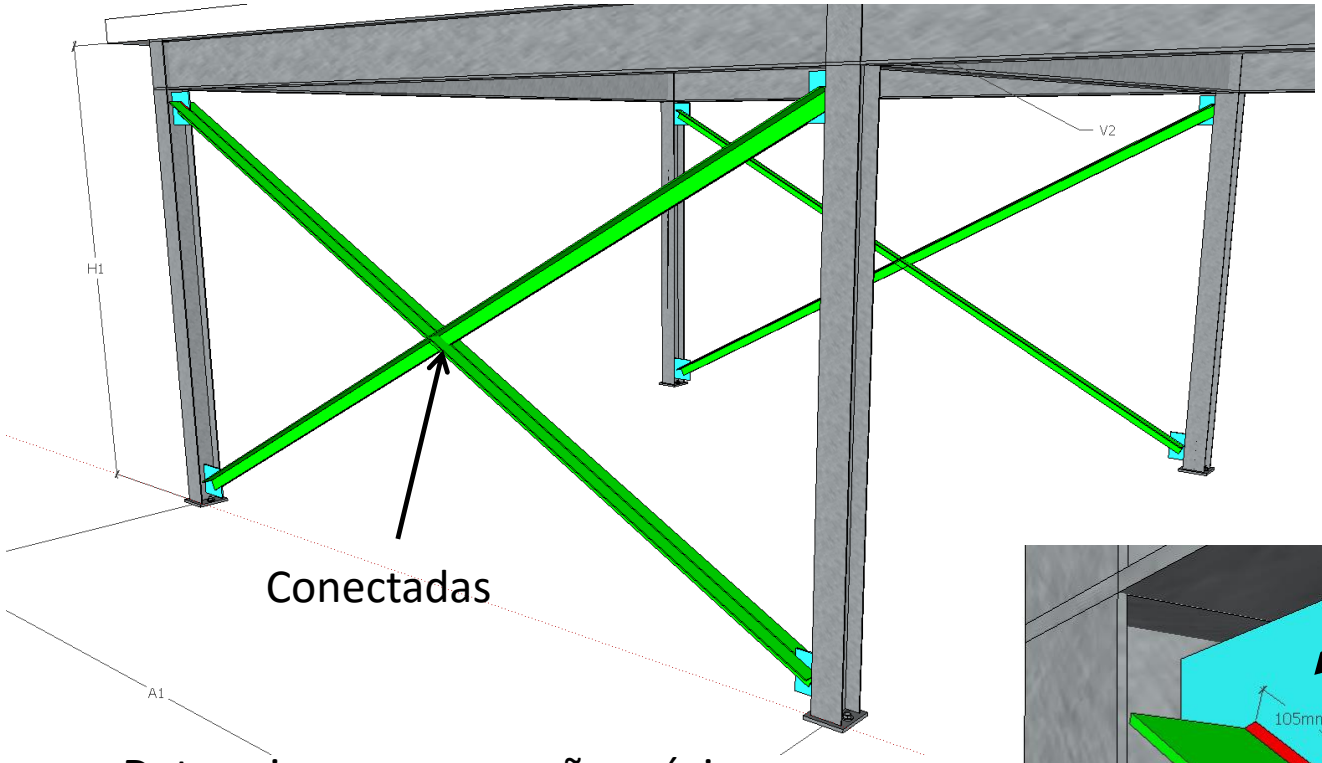
- para $\lambda_0 > 1{,}5$: $\chi = \frac{0{,}877}{\lambda_0^2}$

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

Passo 4 – Preencher a fórmula:

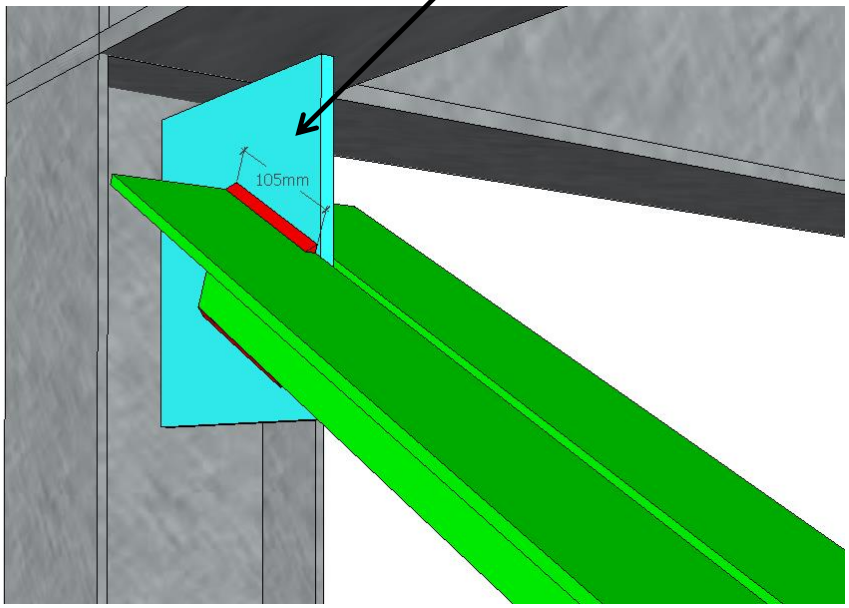
$$N_{c,Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1} = \frac{0{,}1159\ .\ 1\ .\ 9{,}29\ .25}{1{,}1} = 24{,}47\ kN$$

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



Conectadas

Chapa #16mm ~ 5/8''



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

L = 400cm

RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

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

$$\lambda x = \frac{kx.Lx}{rx} = \frac{0{,}5.200}{2{,}36} = 42{,}37 \; OK$$

$$\lambda y = \frac{ky.Ly}{ry} = \frac{0{,}5.400}{3{,}73} = 53{,}61 \; OK$$

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

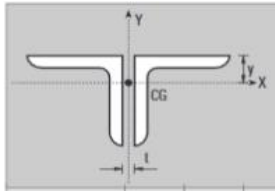


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais

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

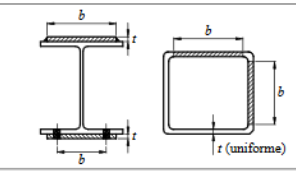
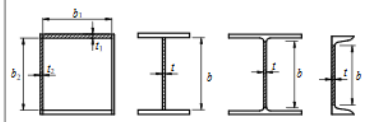
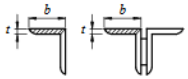
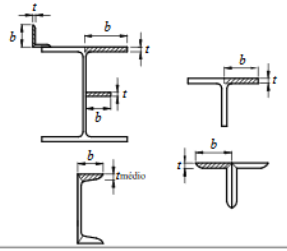
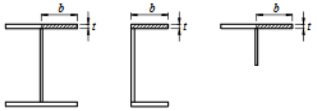
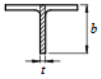
$$\frac{b}{t} \leq 0{,}45\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow 0{,}45\sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 12{,}88$$

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

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

$$Ne_x = \frac{\pi^2 . E . I_x}{(K_x . L_x)^2} \qquad Ne_x = \frac{\pi^2 . 20500.100}{(0{,}5\ .\ 200)^2} = 2023{,}26\ kN$$

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

$$Ne_y = \frac{\pi^2 . E . I_y}{(K_y . L_y)^2} \qquad Ne_y = \frac{\pi^2 . 20500.258{,}5}{(0{,}5\ .\ 400)^2} = 1307{,}53\ kN$$

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

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q.A_g.F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1{,}0\ .\ 18{,}58.25}{1307{,}53}} = 0{,}596$$

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

$$\chi = 0{,}658^{\lambda^2} = 0{,}658^{0{,}596^2} = 0{,}8618$$

Passo 4 – Preencher a fórmula:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi.Q.A_g.F_y}{1{,}1} = \frac{0{,}8618\ .\ 1\ .\ 18{,}58\ .25}{1{,}1} = 363{,}91\ kN$$

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.

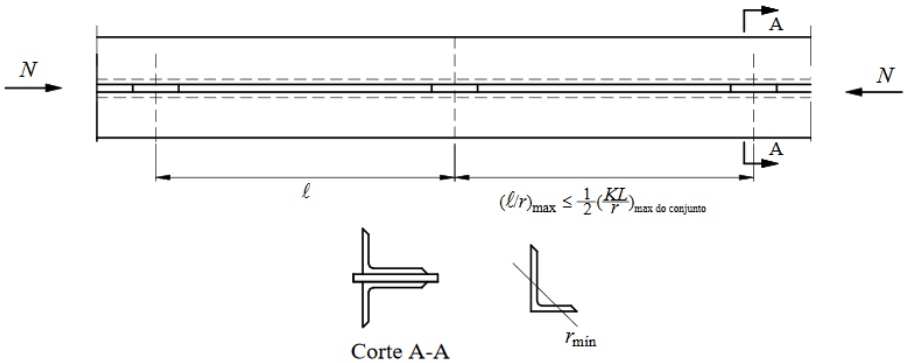


Figura 12 — Barra composta comprimida

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

$$\lambda x = \frac{kx.Lx}{rx} = \frac{0{,}5.200}{2{,}36} = 37{,}17$$

$$\lambda y = \frac{ky.Ly}{ry} = \frac{0{,}5.400}{3{,}73} = 53{,}61$$

$$\frac{l}{2{,}36} = \frac{1}{2}.53{,}61$$

$$l = \frac{2{,}36\ .\ 53{,}61}{2} = 63{,}27cm$$

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