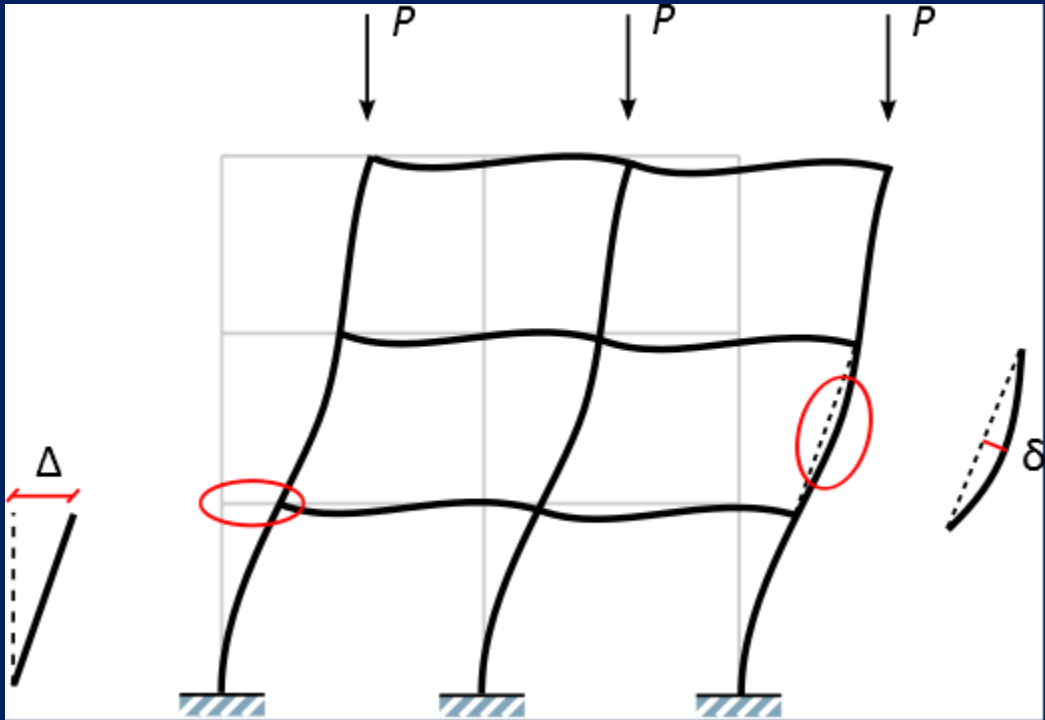
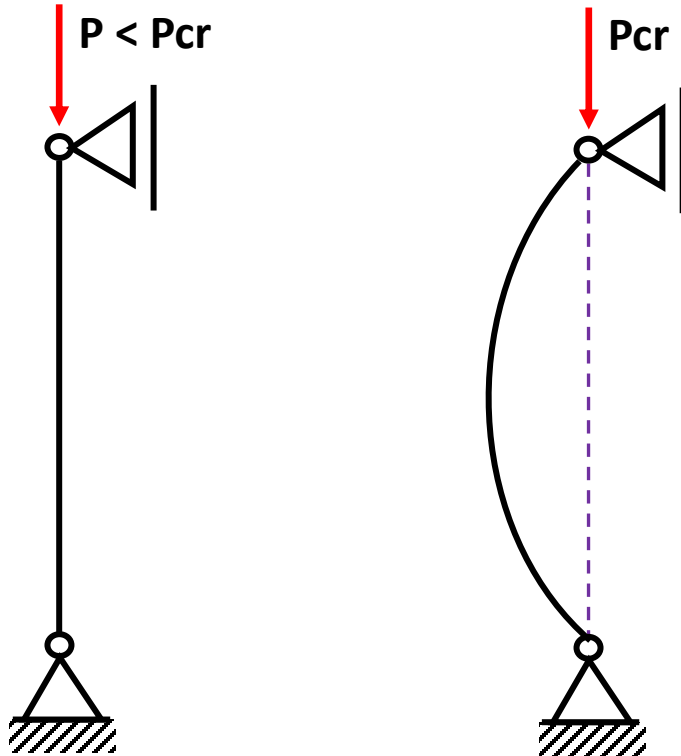


Estabilidade Estrutural

Dimensionamento de Barras Comprimidas



Estabilidade Elástica



$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(kL)^2} \quad \text{Equação de Euler}$$

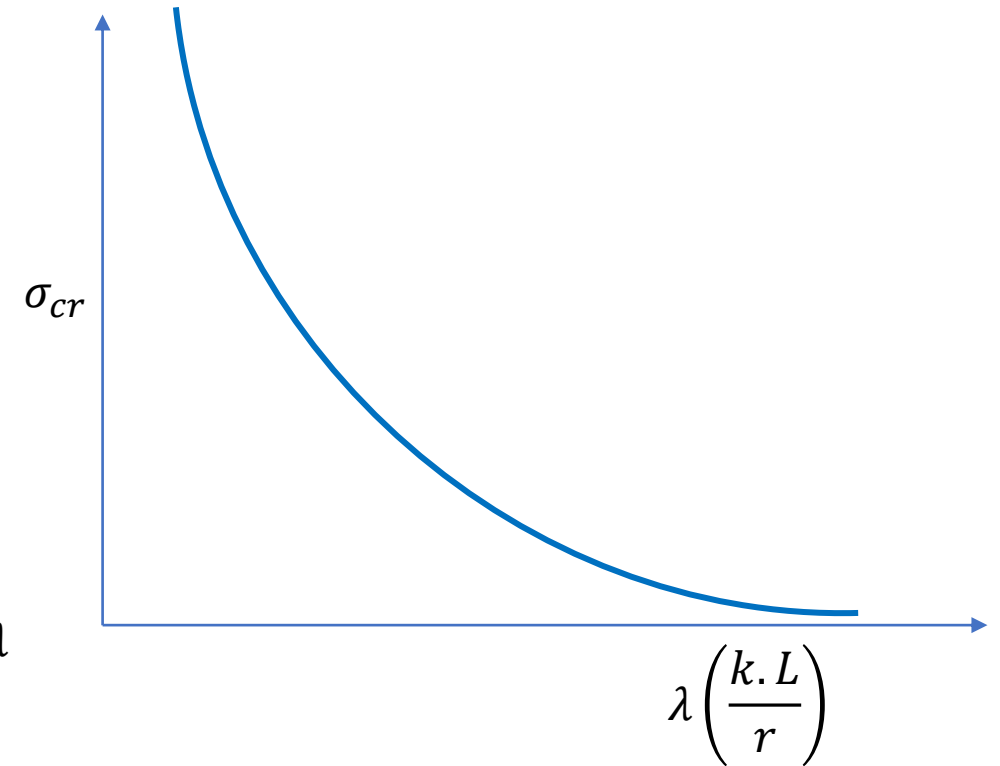
$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$I = r^2 \cdot A$$

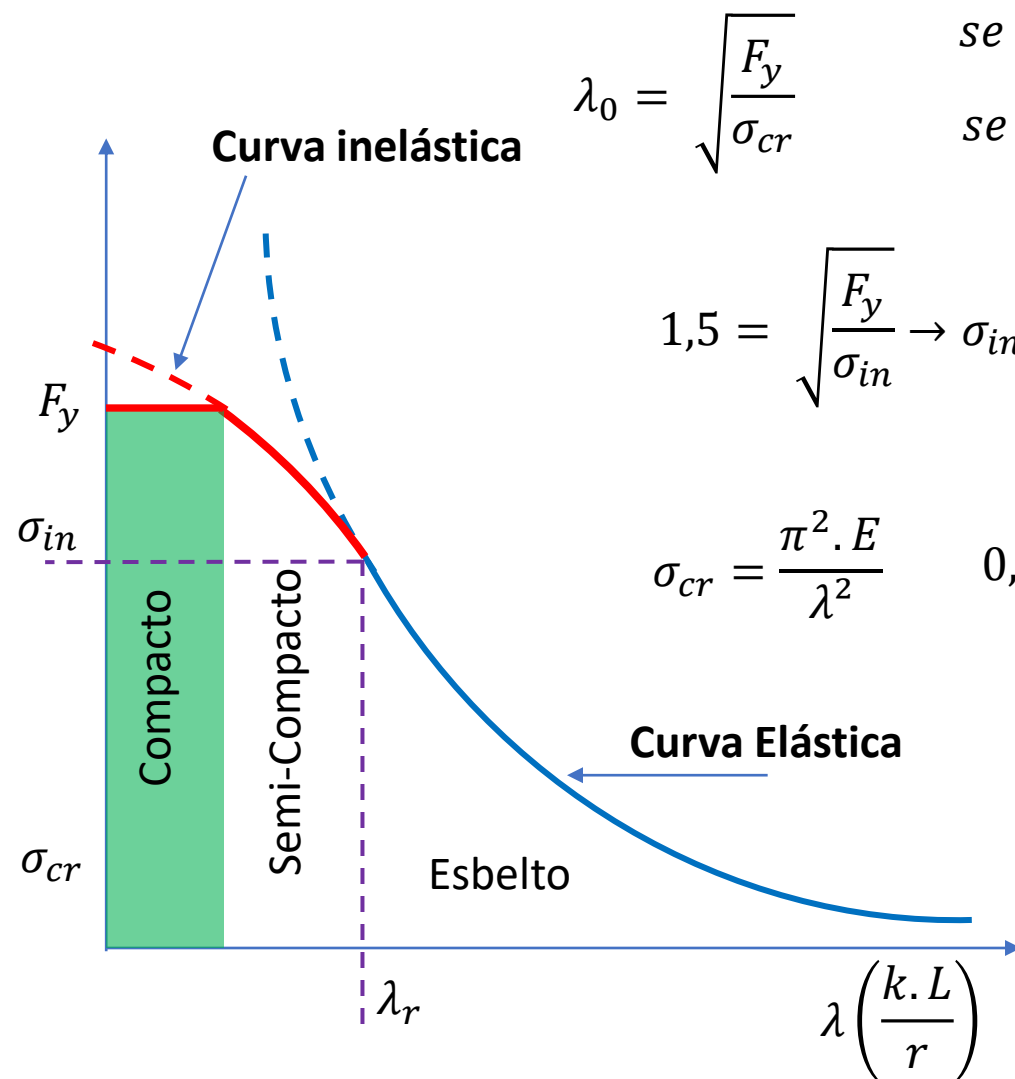
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot r^2 \cdot A}{k^2 L^2}$$

$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)^2} \rightarrow \frac{k \cdot L}{r} = \lambda$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$



Estabilidade Inelástica e Plastificação



$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{F_y}{\sigma_{cr}}}$$

se $\lambda_0 > 1,5$: Flambagem Elástica

se $\lambda_0 \leq 1,5$: Flambagem Inelástica

$$1,5 = \sqrt{\frac{F_y}{\sigma_{in}}} \rightarrow \sigma_{in} = \frac{F_y}{1,5^2} \rightarrow \sigma_{in} = 0,444 \cdot F_y$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \quad 0,444 \cdot F_y = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_r^2} \quad \lambda_r = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0,444 \cdot F_y}}$$





$$\lambda_{rA36} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 20000}{0,444 \cdot 25}} = 134$$

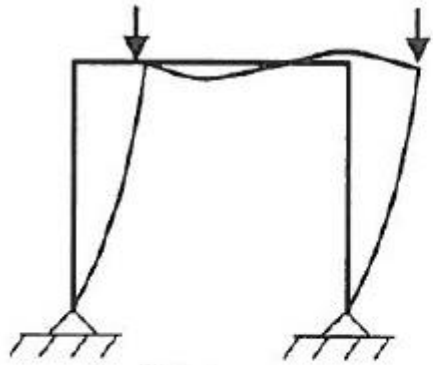
$$\lambda_{rA572-50} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 20000}{0,444 \cdot 34,5}} = 113$$

Método dos Comprimentos Efetivos de Flambagem (k.L)

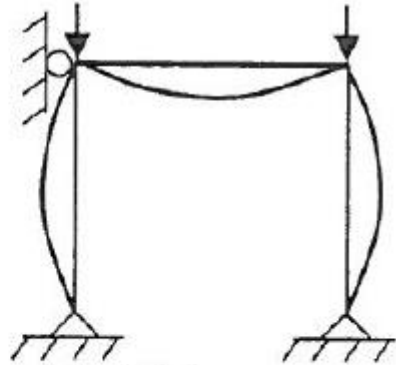
Método utilizado desde a década de 1960, consiste em estabelecer valores de K para amplificar ou reduzir o comprimento do caso fundamental de flambagem ($k=1,00$) – Já não é contemplado explicitamente na NBR8800/2024

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

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

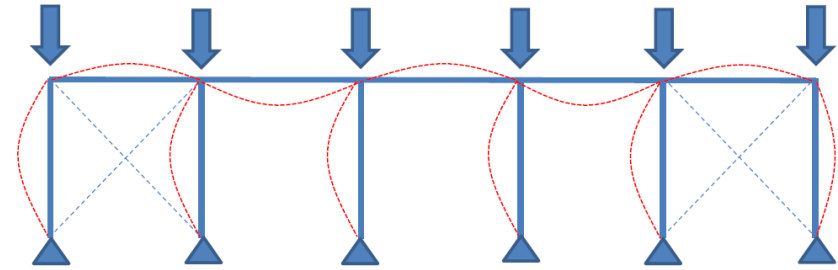


a) Estrutura Aporticada

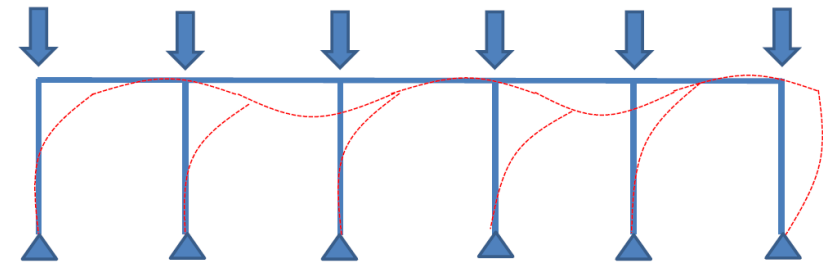


a) Estrutura Contraventada

Tipos de Estruturas



**Estruturas com contenção lateral
(Contraventadas)**



**Estruturas sem contenção lateral
(aporticadas)**

Método dos Comprimentos Efetivos de Flambagem (k.L)

Ábaco para Planos Contraventados

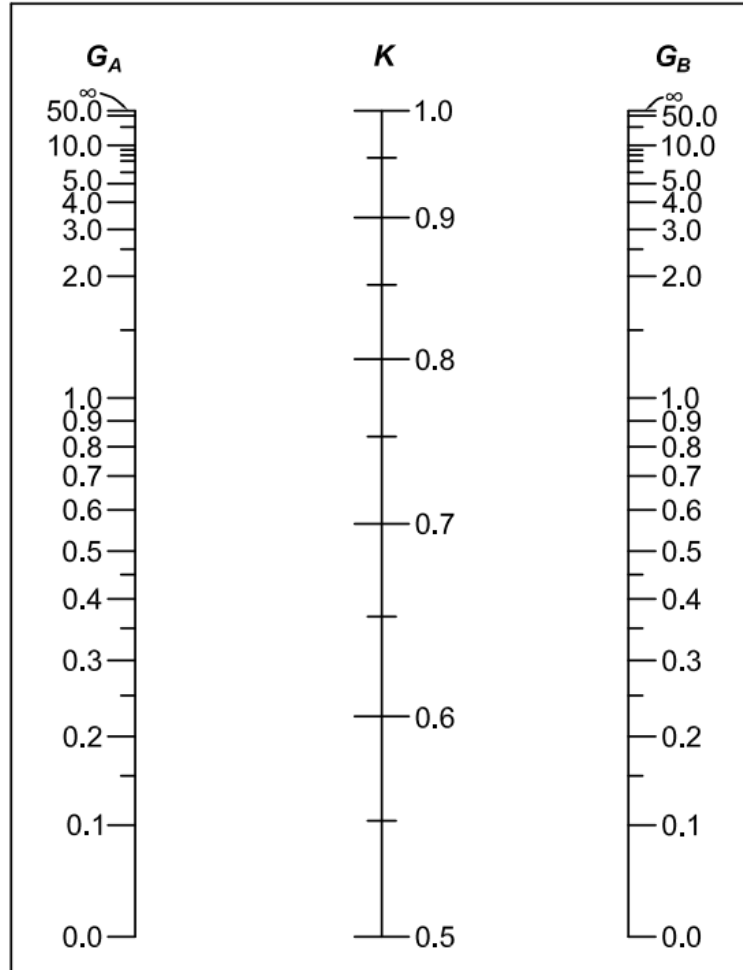


Fig. C-A-7.1. Alignment chart—sidesway inhibited (braced frame).

Ábaco para Planos Aporticados

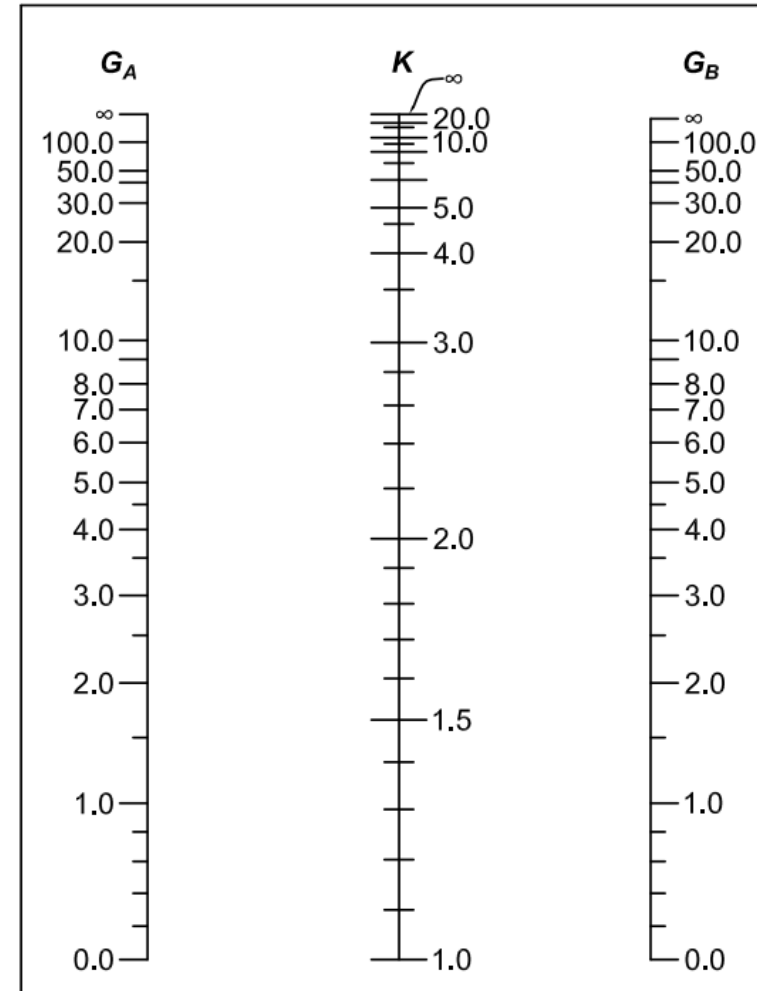
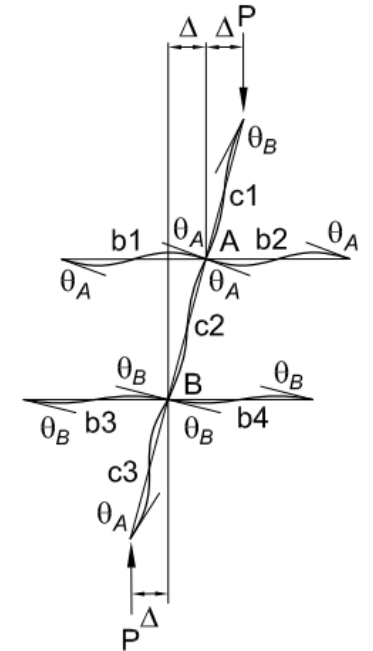


Fig. C-A-7.2. Alignment chart—sidesway uninhibited (moment frame).

$$G = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L} \right)_{\text{pilar}}}{\sum \left(\frac{EI}{L} \right)_{\text{viga}}}$$



Exercício 1

Determinar os comprimentos efetivos de flambagem para a coluna destacada

Determine a esbeltez, a tensão crítica de flambagem Elástica (σ_{cr}) e se a flambagem é elástica ou inelástica

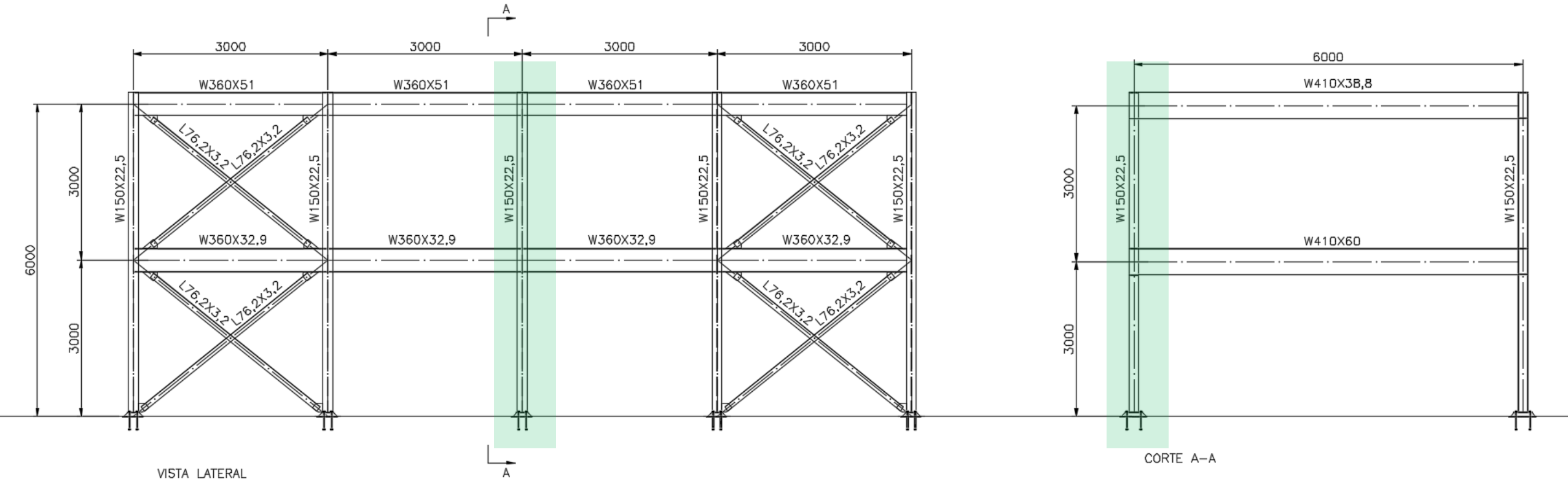


TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r _x cm	I _x cm ⁴	ESBELTEZ		C _w cm ⁶	u m ² /m	BITOLA mm x kg/m
				t _w mm	t _f 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			ABA - λ _y b _f / 2t _f	ALMA - λ _w d' / t _w			
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	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 150 x 22,5 (H)
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	8.358	479,0	14,09	547,6	291	45,9	2,63	72,0	3,20	9,15	7,47	53,10	84.111	1,17	W 360 x 32,9
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	10.331	585,3	14,35	667,7	375	58,6	2,73	91,9	3,27	15,83	5,98	47,32	109.551	1,18	W 360 x 39,0
W 360 x 44,0	44,0	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	12.258	696,5	14,58	784,3	818	95,7	3,77	148,0	4,43	16,70	8,72	44,70	239.091	1,35	W 360 x 44,0
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	14.222	801,2	14,81	899,5	968	113,3	3,87	174,7	4,49	24,65	7,37	42,75	284.994	1,36	W 360 x 51,0
W 360 x 57,8	57,8	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	16.143	901,8	14,92	1.014,8	1.113	129,4	3,92	199,8	4,53	34,45	6,56	38,96	330.394	1,37	W 360 x 57,8
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,7	17.890	1.031,1	14,80	1.145,5	1.885	185,7	4,80	284,5	5,44	44,57	7,52	37,40	523.362	1,46	W 360 x 64,0
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	20.169	1.152,5	14,86	1.285,9	2.140	209,8	4,84	321,8	5,47	61,18	6,75	33,47	599.082	1,47	W 360 x 72,0
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	22.713	1.283,2	14,98	1.437,0	2.416	235,7	4,89	361,9	5,51	82,41	6,10	30,68	685.701	1,48	W 360 x 79,0
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	12.777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9	3,49	11,69	7,95	55,84	153.190	1,32	W 410 x 38,8
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	15.690	778,7	16,27	891,1	514	73,4	2,95	115,2	3,55	20,06	6,25	50,94	196.571	1,33	W 410 x 46,1
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	18.734	929,7	16,55	1.052,2	1.009	114,0	3,84	176,9	4,56	23,38	8,12	47,63	387.194	1,48	W 410 x 53,0
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	21.707	1.066,7	16,88	1.201,5	1.205	135,4	3,98	209,2	4,65	33,78	6,95	46,42	467.404	1,49	W 410 x 60,0
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	24.678	1.203,8	16,91	1.362,7	1.379	154,1	4,00	239,0	4,67	48,11	6,22	40,59	538.546	1,50	W 410 x 67,0
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	27.616	1.337,3	16,98	1.518,6	1.559	173,2	4,03	269,1	4,70	65,21	5,63	36,80	612.784	1,51	W 410 x 75,0
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	31.658	1.518,4	17,07	1.731,7	1.804	199,3	4,08	310,4	4,74	94,48	4,97	32,72	715.165	1,52	W 410 x 85,0

Exercício 1

Trecho superior:

$$G_{a_x} = \frac{\frac{20000 \cdot 1229}{300}}{\frac{20000 \cdot 12777}{600}} = 0,1924 \quad G_{b_x} = \frac{2 \cdot \frac{20000 \cdot 1229}{300}}{\frac{20000 \cdot 21707}{600}} = 0,1924 = 0,2265$$

$$G_{a_y} = \frac{\frac{20000 \cdot 387}{300}}{2 \cdot \frac{20000 \cdot 14222}{300}} = 0,0136 \quad G_{b_y} = \frac{2 \cdot \frac{20000 \cdot 387}{300}}{2 \cdot \frac{20000 \cdot 8358}{300}} = 0,046$$

Trecho Inferior:

$$G_{a_x} = \frac{2 \cdot \frac{20000 \cdot 1229}{300}}{\frac{20000 \cdot 21707}{600}} = 0,1924 = 0,2265 \quad G_{b_x} = 0$$

$$G_{a_y} = \frac{2 \cdot \frac{20000 \cdot 387}{300}}{2 \cdot \frac{20000 \cdot 8358}{300}} = 0,046 \quad G_{b_y} = 50 +$$

Exercício 1

Ábaco para Planos Contraventados (EIXO Y-Y)

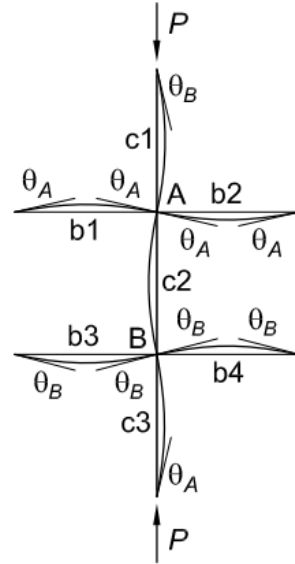
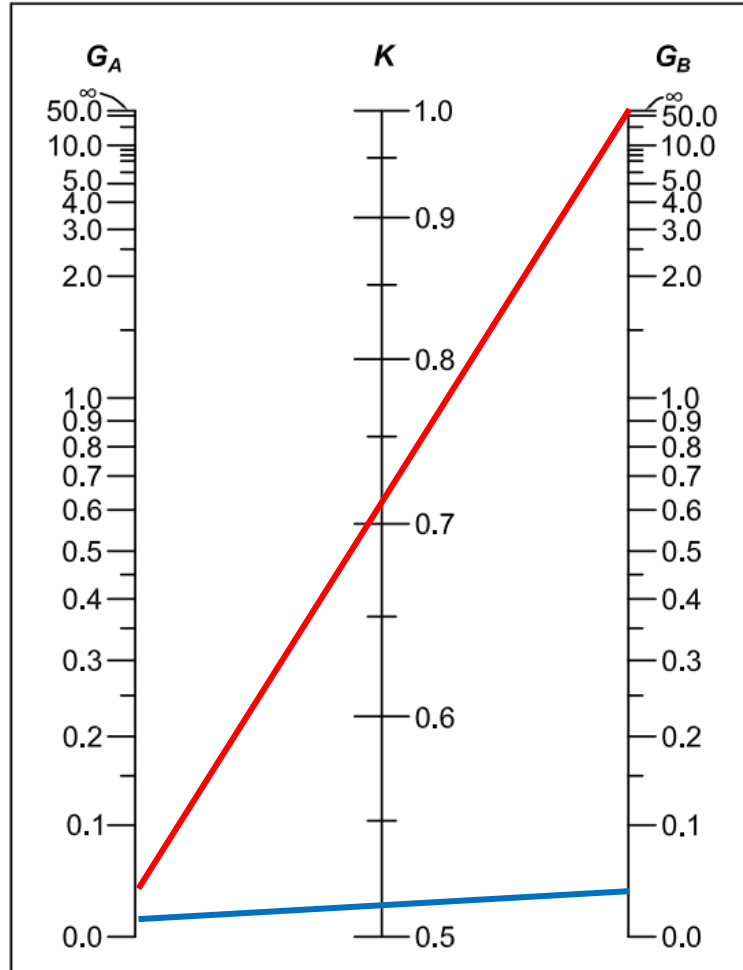


Fig. C-A-7.1. Alignment chart—sidesway inhibited (braced frame).

Ábaco para Planos Aporticados (EIXO X-X)

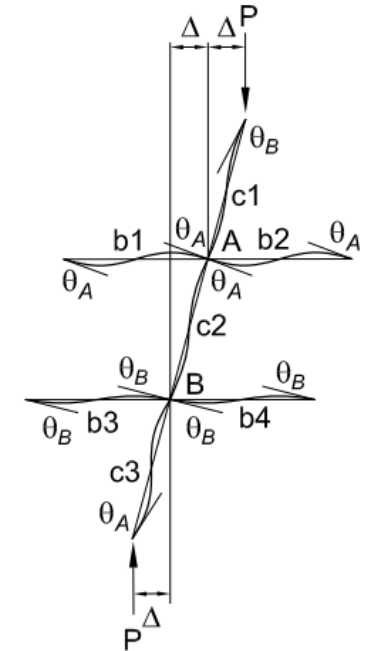
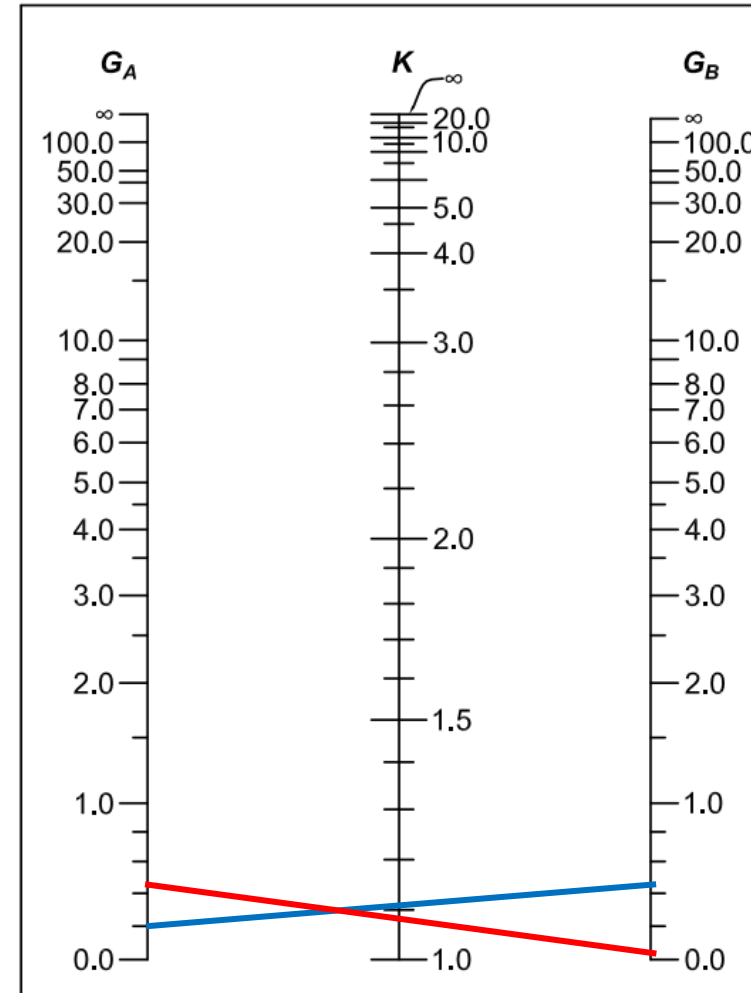
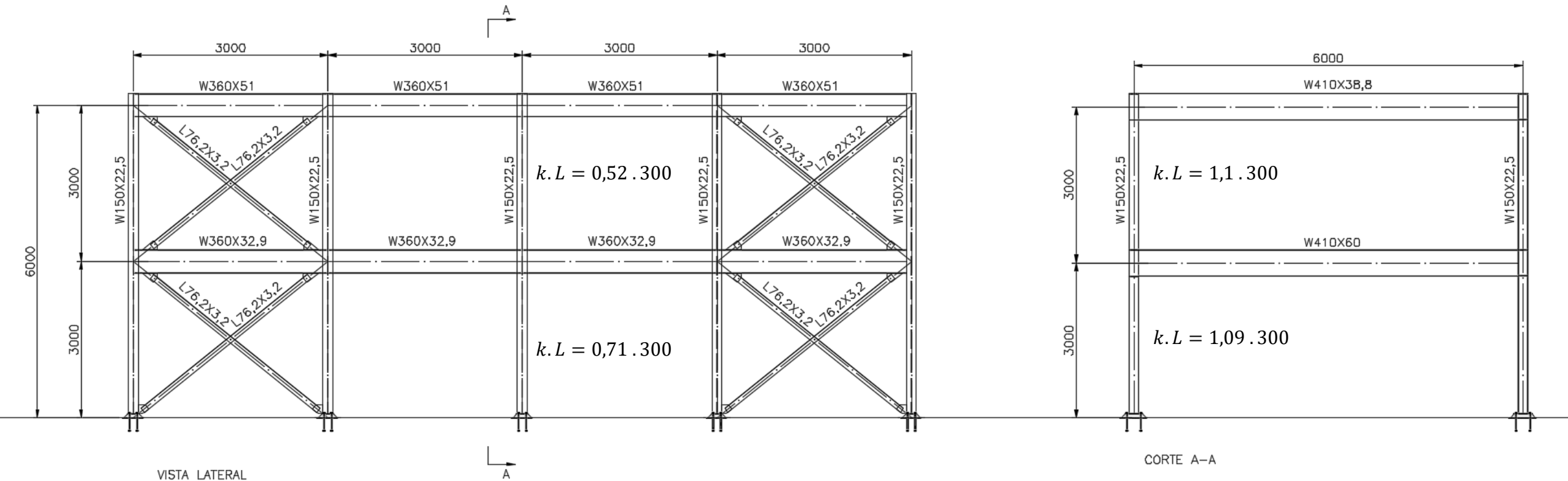


Fig. C-A-7.2. Alignment chart—sidesway uninhibited (moment frame).

Exercício 1



Exercício 1

Trecho superior:

$$\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} \rightarrow \frac{1,1 \cdot 300}{6,51} = 50,69 \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20000}{50,69^2} = 76,82 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_0 = \sqrt{\frac{34,5}{76,82}} = 0,67 < 1,5 \quad \text{Inelástica}$$

$$\lambda_y = \frac{k_y \cdot L_y}{r_y} \rightarrow \frac{0,52 \cdot 300}{3,65} = 42,73 \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20000}{42,73^2} = 108,11 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_0 = \sqrt{\frac{34,5}{108,11}} = 0,57 < 1,5 \quad \text{Inelástica}$$

Trecho Inferior:

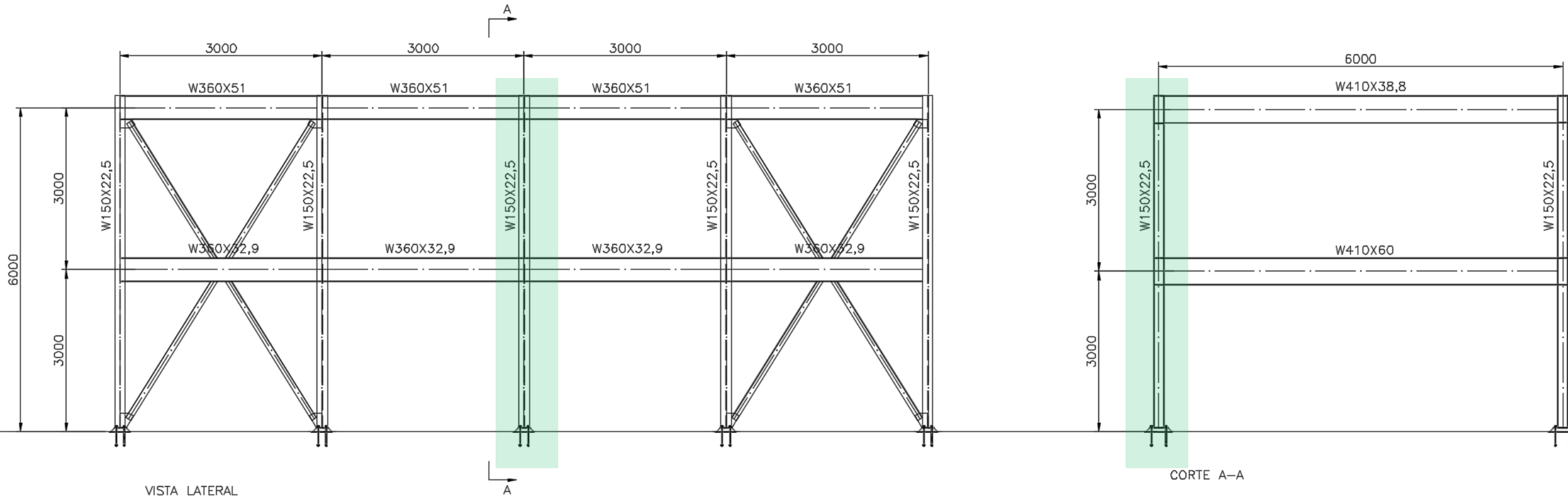
$$\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} \rightarrow \frac{1,09 \cdot 300}{6,51} = 50,23 \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20000}{50,23^2} = 76,23 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_0 = \sqrt{\frac{34,5}{76,23}} = 0,67 < 1,5 \quad \text{Inelástica}$$

$$\lambda_y = \frac{k_y \cdot L_y}{r_y} \rightarrow \frac{0,71 \cdot 300}{3,65} = 58,35 \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20000}{58,35^2} = 57,97 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_0 = \sqrt{\frac{34,5}{57,97}} = 0,77 < 1,5 \quad \text{Inelástica}$$

Exercício 2

Determinar os comprimentos efetivos de flambagem para a coluna destacada

Determine a esbeltez, a tensão crítica de flambagem Elástica (σ_{cr}) e se a flambagem é elástica ou inelástica



Exercício 2

Trecho superior:

$$G_{a_x} = \frac{\frac{20000 \cdot 1229}{300}}{\frac{20000 \cdot 12777}{600}} = 0,1924 \quad G_{b_x} = \frac{2 \cdot \frac{20000 \cdot 1229}{300}}{\frac{20000 \cdot 21707}{600}} = 0,1924 = 0,2265$$

Trecho Inferior:

$$G_{a_x} = \frac{2 \cdot \frac{20000 \cdot 1229}{300}}{\frac{20000 \cdot 21707}{600}} = 0,1924 = 0,2265 \quad G_{b_x} = 0$$

Em torno de Y-Y

$$G_{a_y} = \frac{\frac{20000 \cdot 387}{600}}{2 \cdot \frac{20000 \cdot 14222}{300}} = 0,007 \quad G_{b_y} = 50 +$$

Exercício 2

Ábaco para Planos Contraventados (EIXO Y-Y)

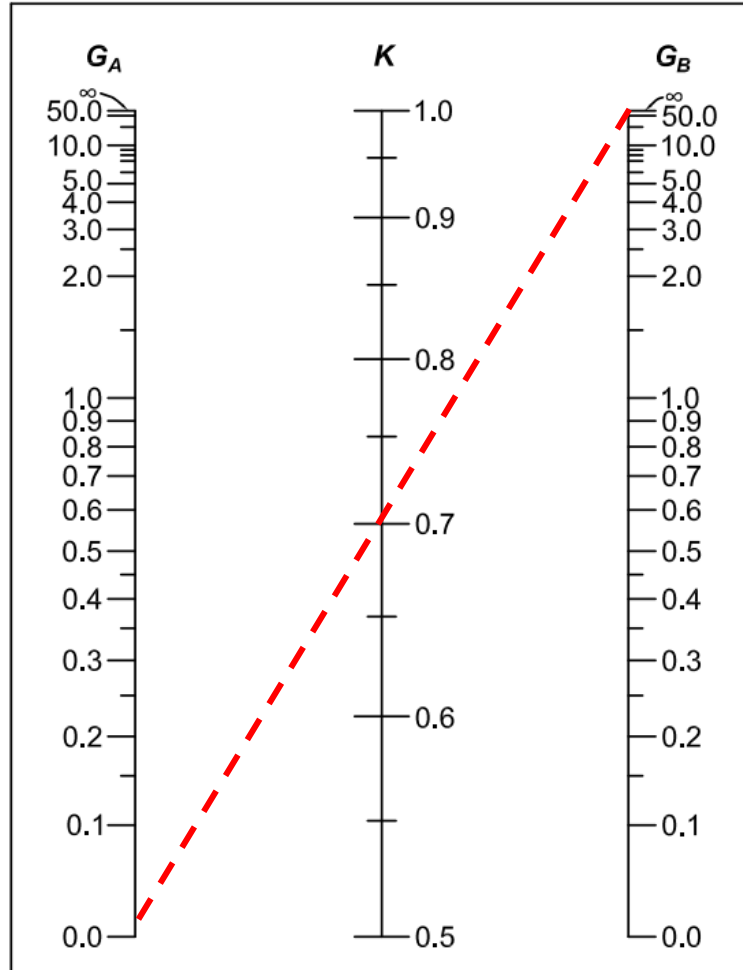


Fig. C-A-7.1. Alignment chart—sidesway inhibited (braced frame).

Ábaco para Planos Aporticados (EIXO X-X)

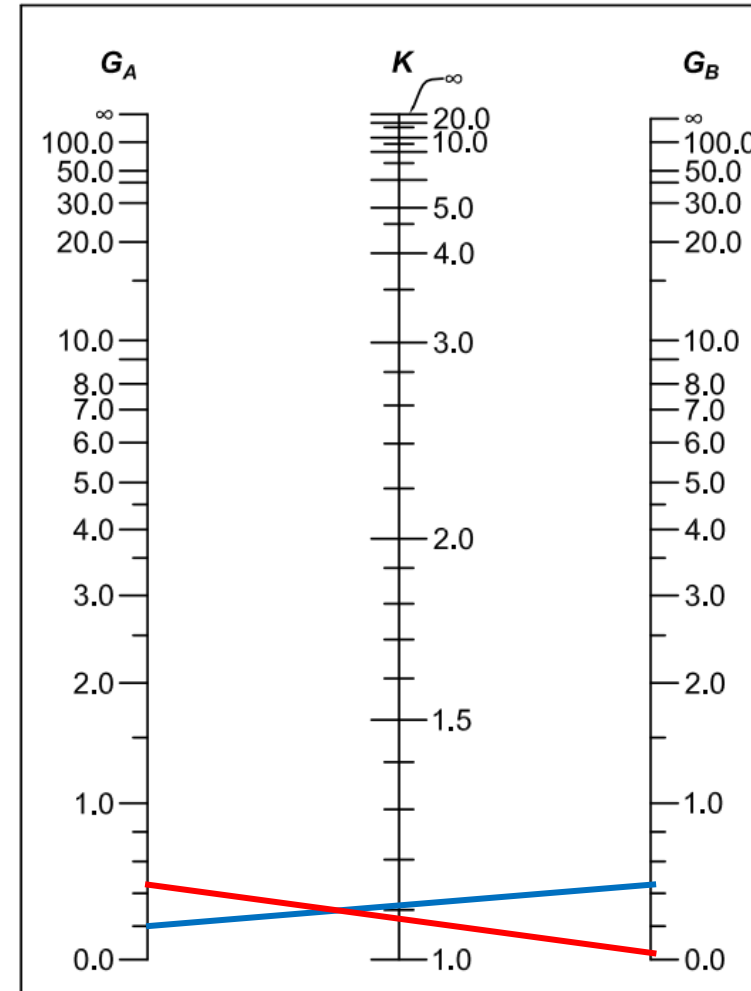


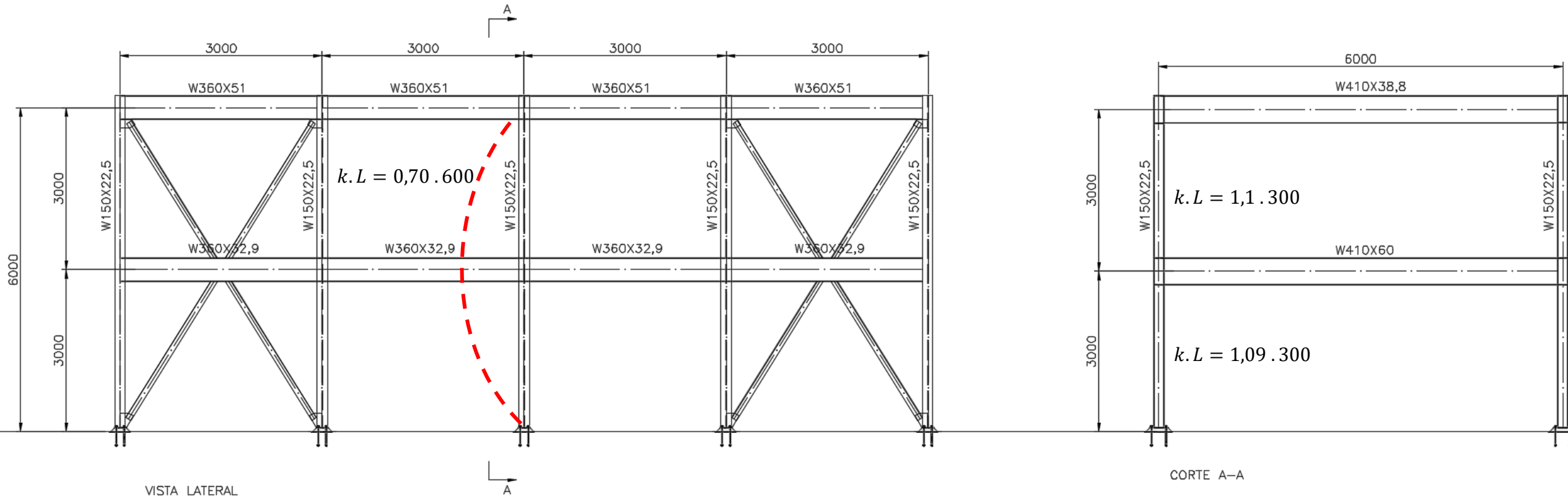
Fig. C-A-7.2. Alignment chart—sidesway uninhibited (moment frame).

— SUPERIOR
— INFERIOR
- - - ALTURA TOTAL

Exercício 2

Determinar os comprimentos efetivos de flambagem para a coluna destacada

Determine a esbeltez, a tensão crítica de flambagem Elástica (σ_{cr}) e se a flambagem é elástica ou inelástica



Exercício 2

Trecho superior:

$$\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} \rightarrow \frac{1,1 \cdot 300}{6,51} = 50,69 \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20000}{50,69^2} = 76,82 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_0 = \sqrt{\frac{34,5}{76,82}} = 0,67 < 1,5 \quad \text{Inelástica}$$

Trecho Inferior:

$$\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} \rightarrow \frac{1,09 \cdot 300}{6,51} = 50,23 \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20000}{50,23^2} = 76,23 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_0 = \sqrt{\frac{34,5}{76,23}} = 0,67 < 1,5 \quad \text{Inelástica}$$

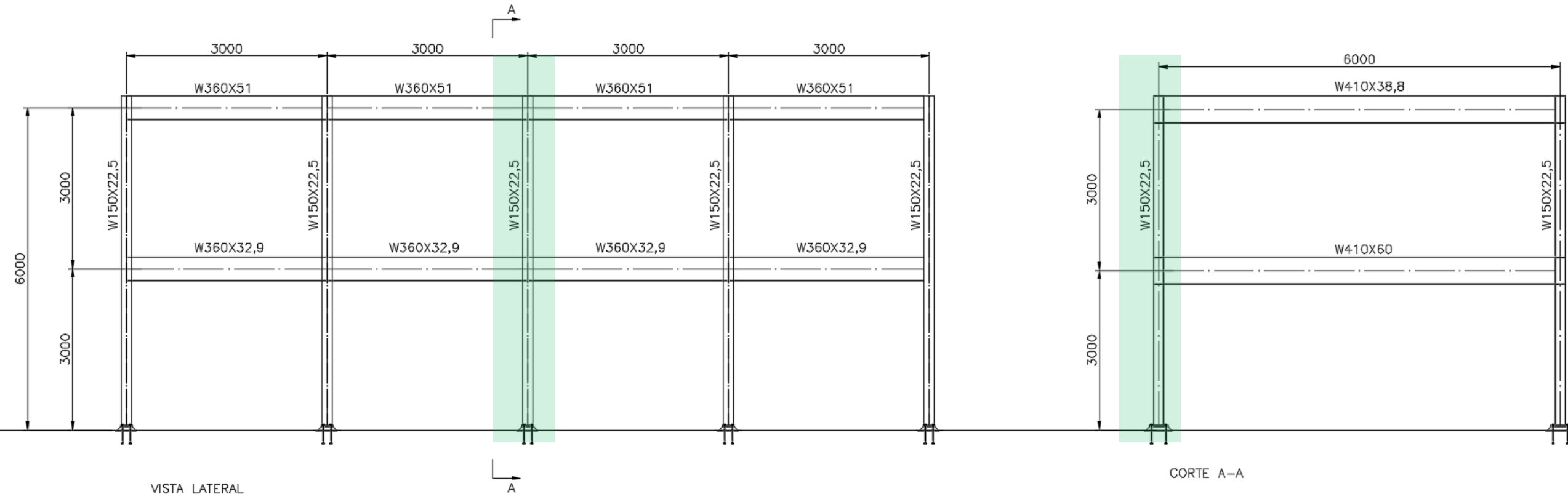
Em torno de Y-Y

$$\lambda_y = \frac{k_y \cdot L_y}{r_y} \rightarrow \frac{0,70 \cdot 600}{3,65} = 115,07 \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20000}{115,07^2} = 14,91 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_0 = \sqrt{\frac{34,5}{14,91}} = 1,52 > 1,5 \quad \text{Elástica}$$

Exercício 3

Determinar os comprimentos efetivos de flambagem para a coluna destacada

Determine a esbeltez, a tensão crítica de flambagem Elástica (σ_{cr}) e se a flambagem é elástica ou inelástica



Exercício 3

Trecho superior:

$$G_{a_x} = \frac{\frac{20000 \cdot 1229}{300}}{\frac{20000 \cdot 12777}{600}} = 0,1924 \quad G_{b_x} = \frac{2 \cdot \frac{20000 \cdot 1229}{300}}{\frac{20000 \cdot 21707}{600}} = 0,1924 = 0,2265$$

$$G_{a_y} = \frac{\frac{20000 \cdot 387}{300}}{2 \cdot \frac{20000 \cdot 14222}{300}} = 0,0136 \quad G_{b_y} = \frac{2 \cdot \frac{20000 \cdot 387}{300}}{2 \cdot \frac{20000 \cdot 8358}{300}} = 0,046$$

Trecho Inferior:

$$G_{a_x} = \frac{2 \cdot \frac{20000 \cdot 1229}{300}}{\frac{20000 \cdot 21707}{600}} = 0,1924 = 0,2265 \quad G_{b_x} = 0$$

$$G_{a_y} = \frac{2 \cdot \frac{20000 \cdot 387}{300}}{2 \cdot \frac{20000 \cdot 8358}{300}} = 0,046 \quad G_{b_y} = 50 +$$

Exercício 3

Ábaco para Planos Aporticados (EIXO Y-Y)

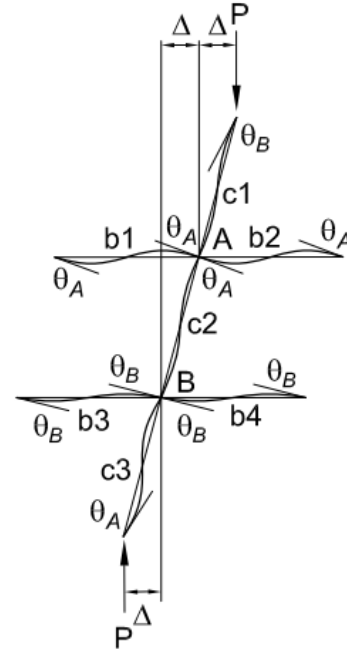
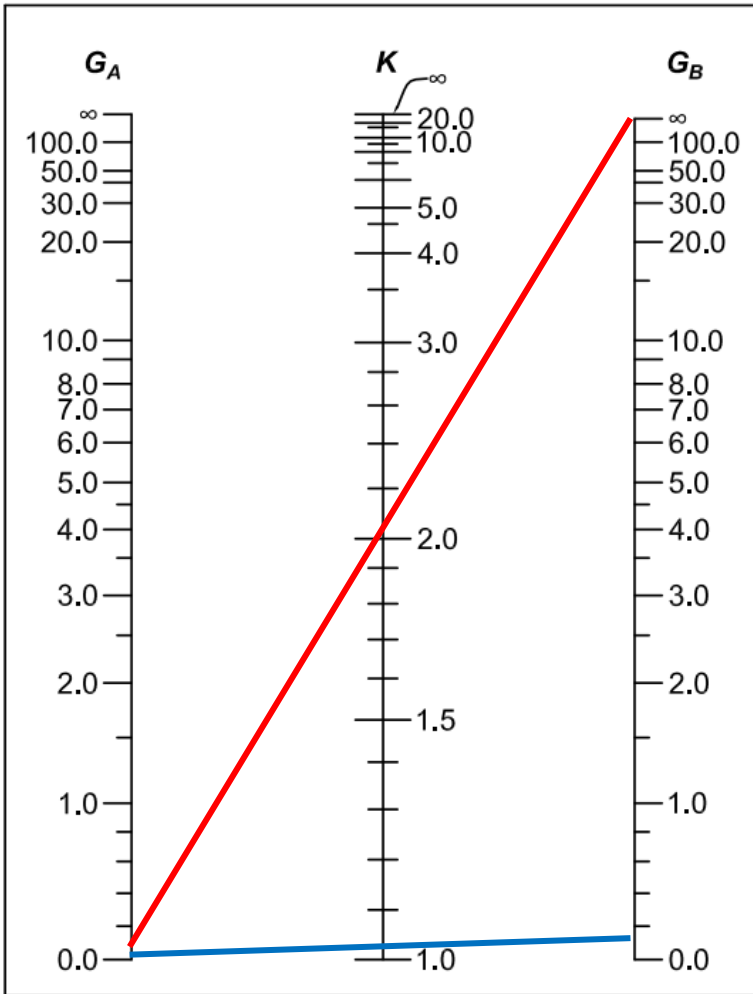


Fig. C-A-7.2. Alignment chart—sideway uninhibited (moment frame).

Ábaco para Planos Aporticados (EIXO X-X)

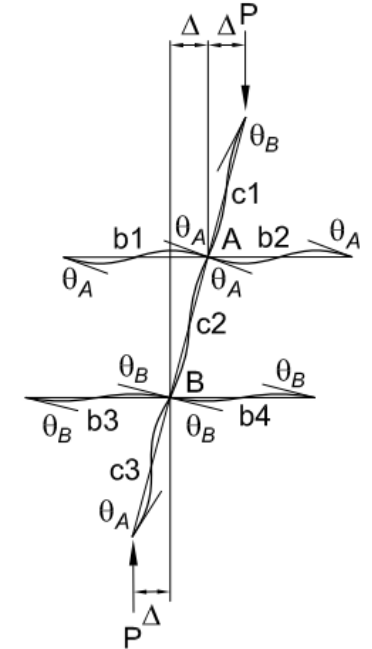
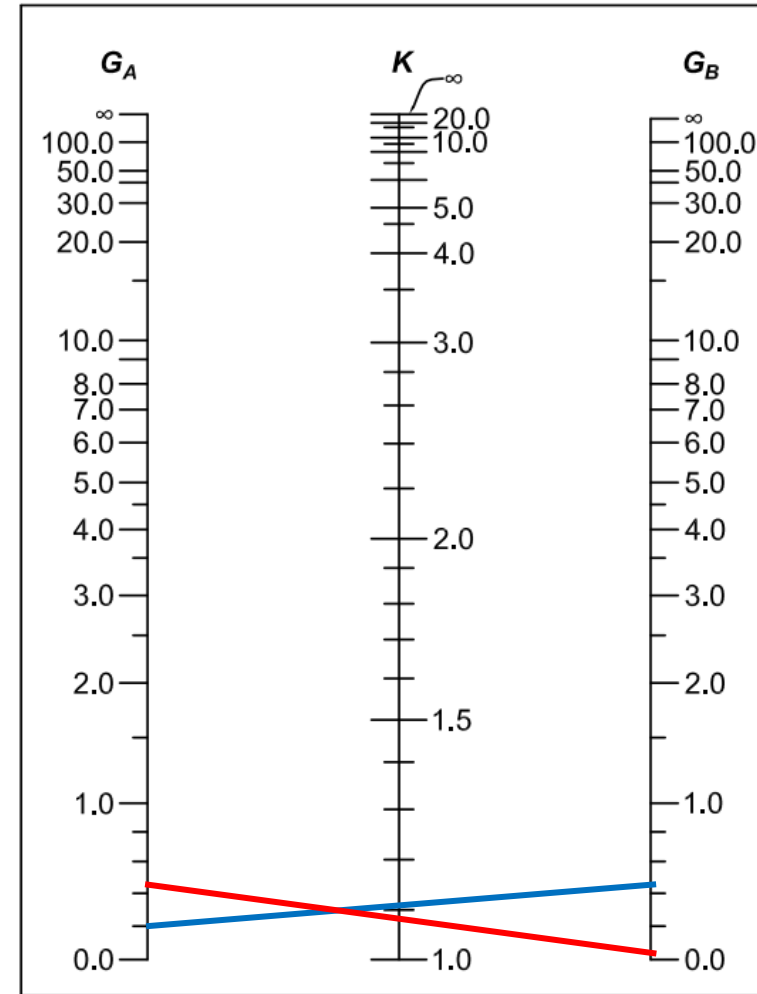


Fig. C-A-7.2. Alignment chart—sideway uninhibited (moment frame).

Exercício 3

Trecho superior:

$$\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} \rightarrow \frac{1,1 \cdot 300}{6,51} = 50,69 \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20000}{50,69^2} = 76,82 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_0 = \sqrt{\frac{34,5}{76,82}} = 0,67 < 1,5 \quad \text{Inelástica}$$

$$\lambda_y = \frac{k_y \cdot L_y}{r_y} \rightarrow \frac{1,01 \cdot 300}{3,65} = 83,01 \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20000}{83,01^2} = 28,64 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_0 = \sqrt{\frac{34,5}{28,64}} = 1,097 < 1,5 \quad \text{Inelástica}$$

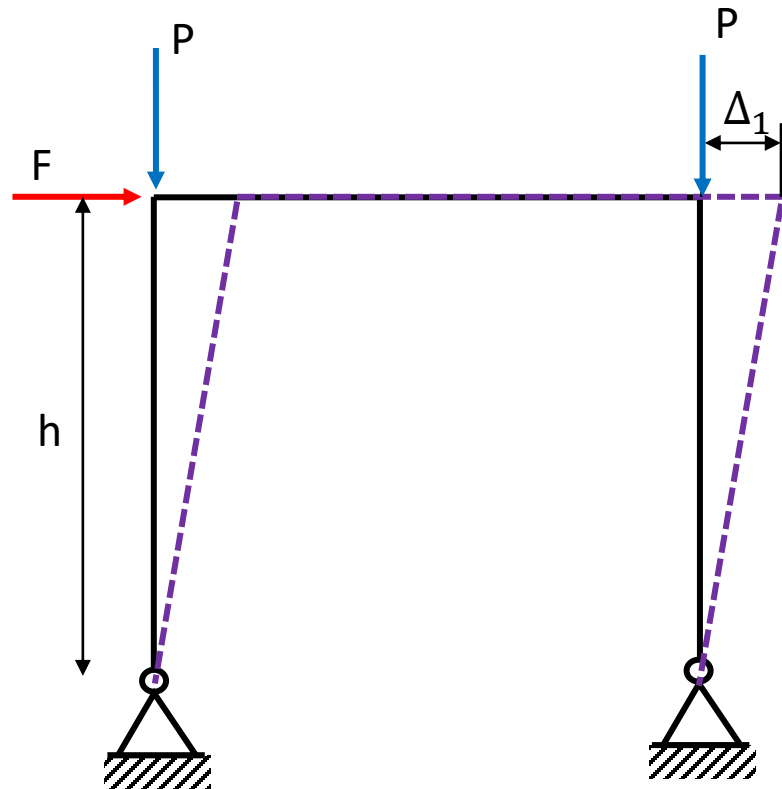
Trecho Inferior:

$$\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} \rightarrow \frac{1,09 \cdot 300}{6,51} = 50,23 \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20000}{50,23^2} = 76,23 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_0 = \sqrt{\frac{34,5}{76,23}} = 0,67 < 1,5 \quad \text{Inelástica}$$

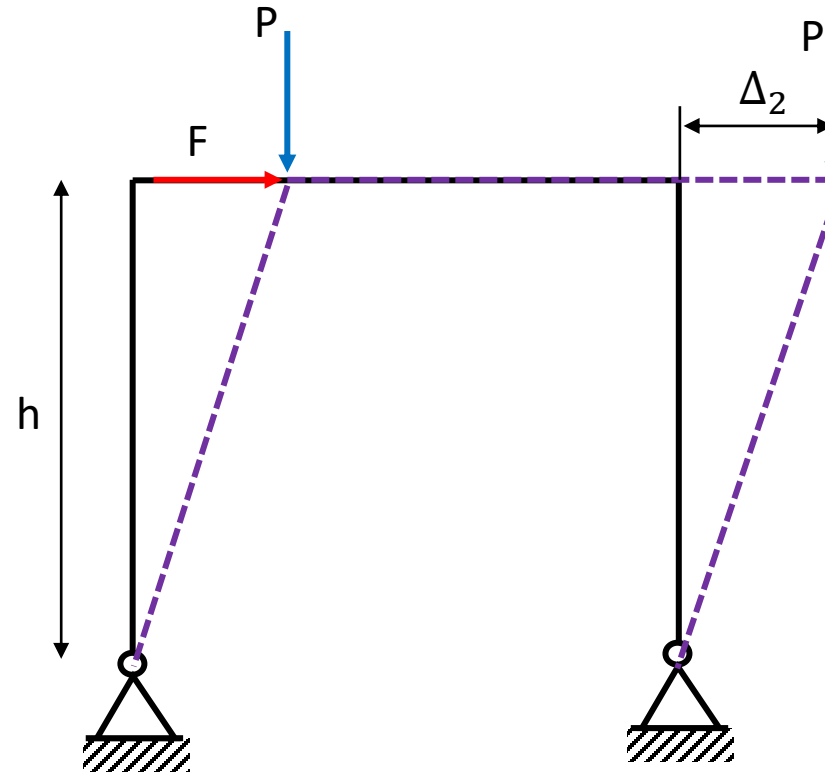
$$\lambda_y = \frac{k_y \cdot L_y}{r_y} \rightarrow \frac{2,00 \cdot 300}{3,65} = 164,38 \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20000}{164,38^2} = 7,30 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_0 = \sqrt{\frac{34,5}{7,30}} = 2,17 > 1,5 \quad \text{Elástica}$$

Classificação da estrutura quanto à deslocabilidade

Análise de primeira Ordem Elástica



Análise de Segunda ordem Elástica



Classificação da estrutura quanto à deslocabilidade

Classificação da sensibilidade lateral da estrutura

<p>Pequena deslocabilidade</p> $Se \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \leq 1,1$	<p><i>Cargas oriundas das imperfeições iniciais são obtidas por:</i></p> <p><i>Desaprumo inicial = $H/333$ ou</i></p> <p><i>Carga nocional de 0,3% das cargas gravitacionais</i></p> <p><i>Análise de primeira ordem desde que $N_{sd}/N_{Rd} < 0,50$ (A.fy)</i></p>
<p>Média deslocabilidade</p> $Se 1,1 < \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \leq 1,4$	<p><i>Cargas oriundas das imperfeições iniciais são obtidas por:</i></p> <p><i>Desaprumo inicial = $H/333$ ou</i></p> <p><i>Carga nocional de 0,3% das cargas gravitacionais</i></p> <p style="text-align: center;">+</p> <p><i>Análise de segunda ordem com Redução da rigidez à flexão e axial para 80% ($0,8 \times E$)</i></p>
<p>Alta deslocabilidade</p> $Se \frac{\Delta_2}{\Delta_1} > 1,4$	

Método aproximado simplificado para obtenção da relação $\frac{\Delta_2}{\Delta_1}$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1}{R_s} \cdot \frac{\delta}{H} \cdot \sum \frac{N_{sd}}{H_{sd}}}$$

R_s é um coeficiente de ajuste que leva em conta a influência do efeito local $P-\delta$ na amplificação de Δ_h , igual a 1,0 nos andares em que nenhuma subestrutura de contraventamento é um pórtico (subestrutura cuja estabilidade lateral é assegurada pela rigidez à flexão das barras e pela capacidade de transmissão de momentos das ligações) e, nos andares em que pelo menos uma subestrutura de contraventamento é um pórtico, dado por: $R_s = 1 - 0,15(\sum N_{pr}/\sum N_{sd})$, sendo $\sum N_{pr}$ a força gravitacional de cálculo que atua apenas nos pilares dos pórticos do andar considerado, incluindo as forças atuantes acima desse andar;

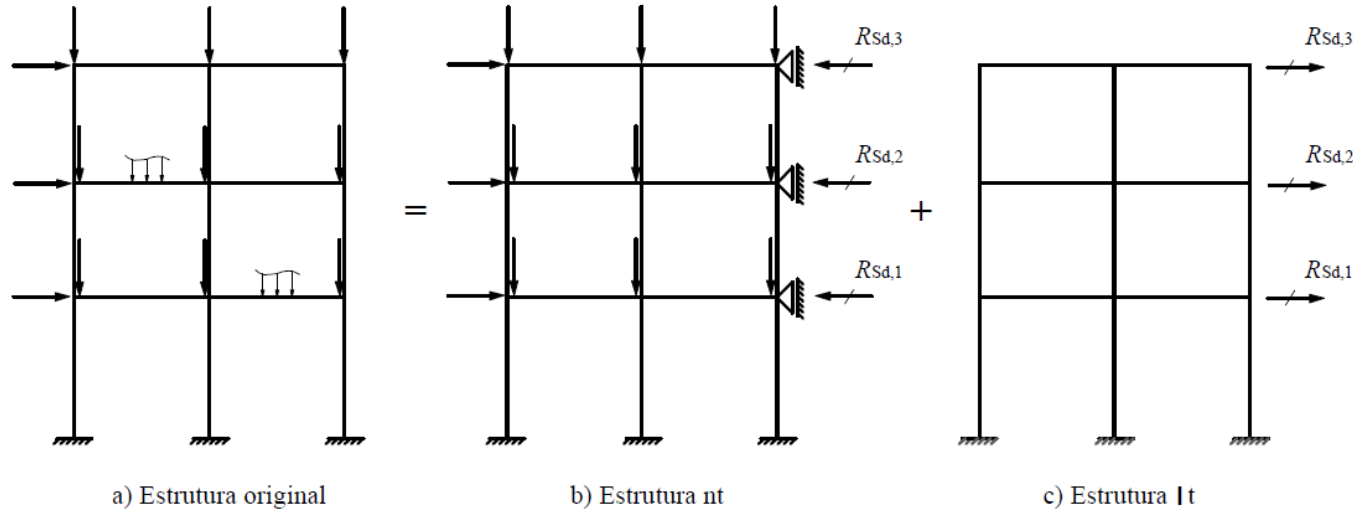
Δ_h é o deslocamento horizontal relativo entre os níveis superior e inferior (deslocamento interpavimento) do andar considerado, obtido da análise de primeira ordem, na estrutura original (Figura D.1-a) ou na estrutura ℓt (Figura D.1-c). Se Δ_h possuir valores diferentes em um mesmo andar, deve ser tomado um valor ponderado para esse deslocamento, em função da proporção das cargas gravitacionais atuantes ou, de modo conservador, o maior valor;

$\sum H_{sd}$ é a força cortante no andar, produzida pelas forças horizontais de cálculo atuantes, usadas para determinar Δ_h e obtida na estrutura original (Figura D.1-a) ou na estrutura ℓt (Figura D.1-c);

H é a altura do andar (distância entre eixos de vigas de dois andares consecutivos ou entre eixos de vigas e a base, no caso do primeiro andar).

Análise Estrutural

Método aproximado para obtenção dos esforços amplificados



Simplificação conservadora

$$B_1 < B_2$$

$$B_2 < 1,4$$

$$R_m = 0,85$$

$$M_{sd} = B_2 \cdot M_{sd1}$$

$$N_{sd} = B_2 \cdot M_{sd2}$$

Sendo M_{sd1} e N_{sd1} , os esforços obtidos na análise de 1ª ordem

$$C_m = 0,60 - 0,40 \frac{M_1}{M_2}$$

$$M_{sd} = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

$$N_{sd} = N_{nt} + B_2 N_{lt}$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{N_{sd1}}{N_e}} \geq 1,0$$

RESUMO DE ALGUNS PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DE ESTABILIDADE EM PROJETOS ESTRUTURAIS

Método	Método da Análise Direta	Método dos Comprimentos Efetivos de Flambagem	Método da Análise de Primeira Ordem
Limitações de uso	Nenhuma	$B2 < 1,5$	$B2 < 1,5$
Tipo de Análise	Segunda Ordem Elástica	Primeira/ Segunda Ordem Elástica	Primeira Ordem Elástica
Geometria da Estrutura	Nominal	Nominal	Nominal
Cargas nocionais aplicadas na análise	0,003 Nsd	0,003 Nsd	0,003 Nsd
Rigidez dos Elementos	0,8EI e 0,8EA	El e EA Nominais	El e EA nominais
Dimensionamento de Elementos Isolados	Capítulos 5,6,7,8 e 9 (NBR8800/24)	Capítulos 5,6,7,8 e 9 (NBR8800/24)	Capítulos 5,6,7,8 e 9 (NBR8800/24)
	$k=1,00$ para todos os elementos	Calcular K individualmente Permite-se $K=1$ para planos contraventados Permite-se $K=1$ para $B2 < 1,1$	$K = 1,00$ para todos os elementos
	Sem considerações para estabilidade local	Sem considerações para estabilidade local	Aplicar B1

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO



Flambagem Local



Flambagem Global

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Passo 1: Determinar a carga crítica de flambagem elástica

seções duplamente simétricas

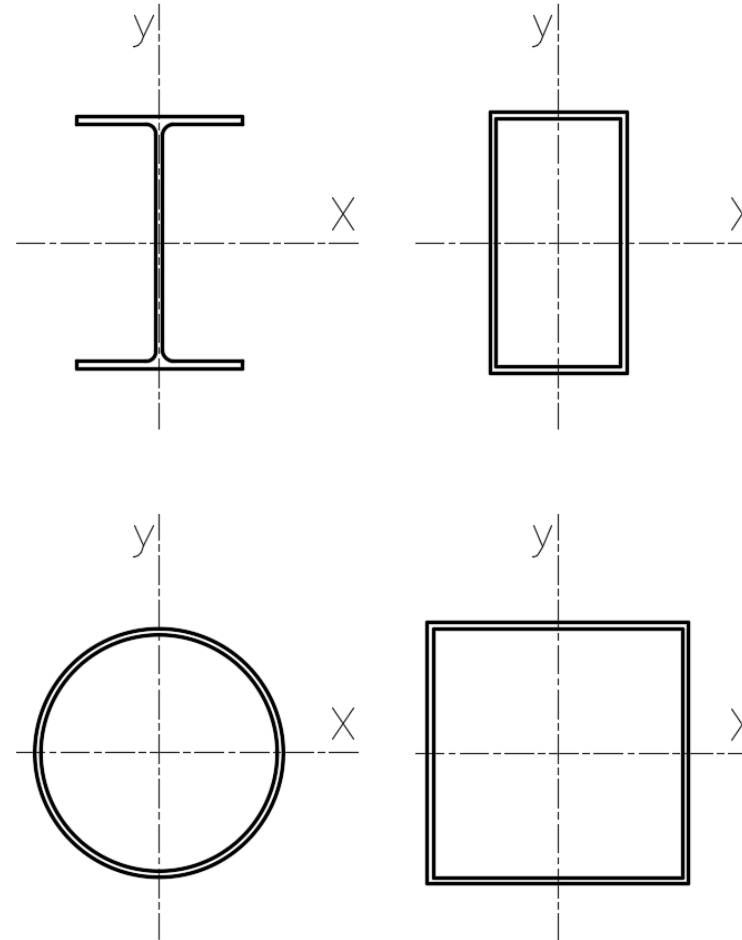
$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2}$$

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

$$N_{ez} = \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]}{r_0^2}$$

$$r_0^2 = r_x^2 + r_y^2$$

$$N_e = \text{mín}(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez})$$



DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

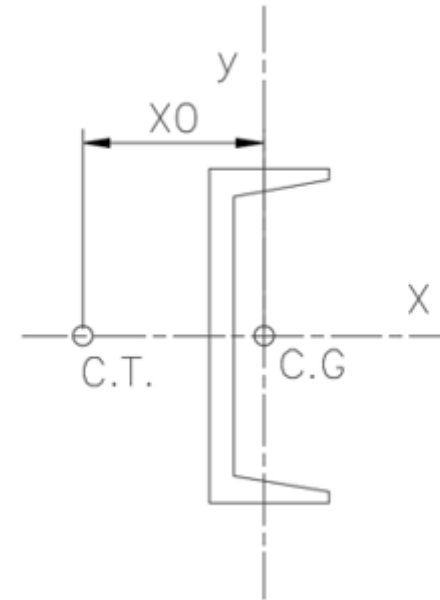
Passo 1: Determinar a carga crítica de flambagem elástica

Seções monossimétricas

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} \quad \text{ou} \quad N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2}$$

$$N_{ez} = \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]}{r_0^2} \quad r_0^2 = r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \left[1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right]$$



Se o eixo de simetria for X adotar N_{ey} ao invés de N_{ex}

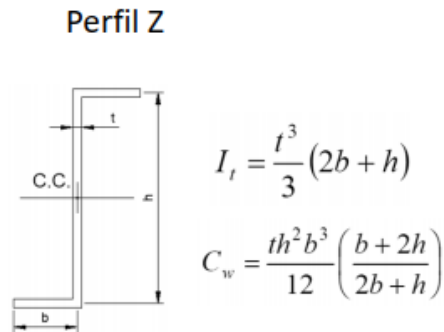
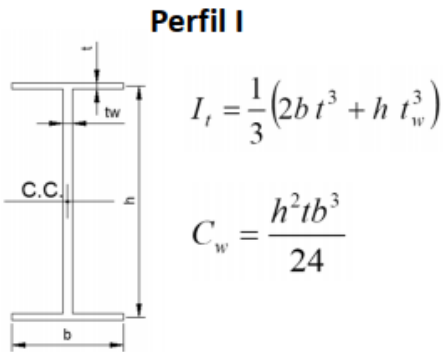
$$N_e = \text{mín}(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}, N_{exz})$$

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Passo 1: Determinar a carga crítica de flambagem elástica

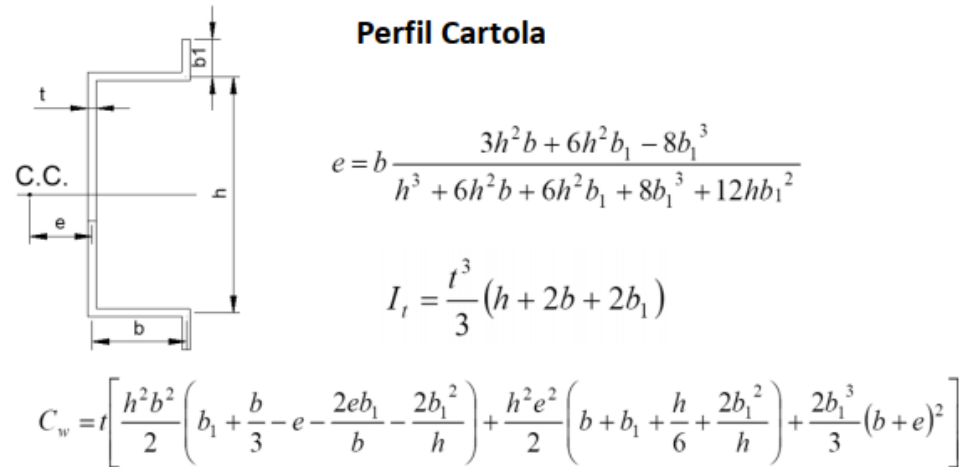
It Para seções abertas (Galambos , 1968)

$$I_t = \sum \frac{b' \cdot t^3}{3}$$

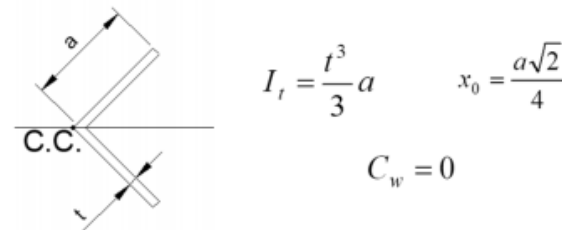


It Para seções fechadas de parede fina

$$I_t = \frac{4 \cdot A_0^2 \cdot t}{p}$$



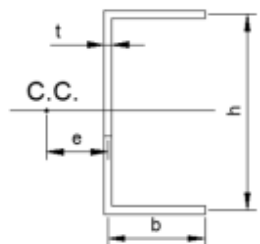
Perfil Cantoneira



DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Passo 1: Determinar a carga crítica de flambagem elástica

Perfil U

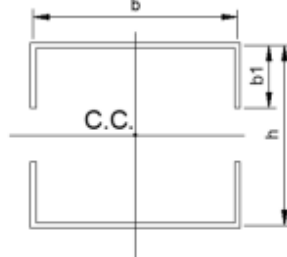


$$e = \frac{3b^2}{h + 6b}$$

$$C_w = \frac{h^2 b^3 t}{12} \frac{2h + 3b}{h + 6b}$$

$$I_t = \frac{t^3}{3} \cdot (h + 2b)$$

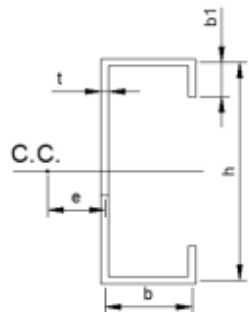
2 perfis U opostos pelas mesas



$$I_t = \frac{t^3}{3} (2b + 4b_1)$$

$$C_w = \frac{tb^2}{24} (8b_1^3 + 6h^2 b_1 + h^2 b + 12b_1^2 h)$$

Perfil U enrijecido

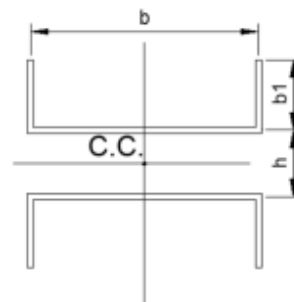


$$e = b \frac{3h^2 b + 6h^2 b_1 - 8b_1^3}{h^3 + 6h^2 b + 6h^2 b_1 + 8b_1^3 - 12hb_1^2}$$

$$I_t = \frac{t^3}{3} (h + 2b + 2b_1)$$

$$C_w = t \left[\frac{h^2 b^2}{2} \left(b_1 + \frac{b}{3} - e - \frac{2eb_1}{b} + \frac{2b_1^2}{h} \right) + \frac{h^2 e^2}{2} \left(b + b_1 + \frac{h}{6} - \frac{2b_1^2}{h} \right) + \frac{2b_1^3}{3} (b + e)^2 \right]$$

2 perfis U opostos pela alma



$$I_t = \frac{t^3}{3} (2b + 4b_1)$$

$$C_w = \frac{tb^2}{24} (8b_1^3 + 6h^2 b_1 + h^2 b - 12b_1^2 h)$$

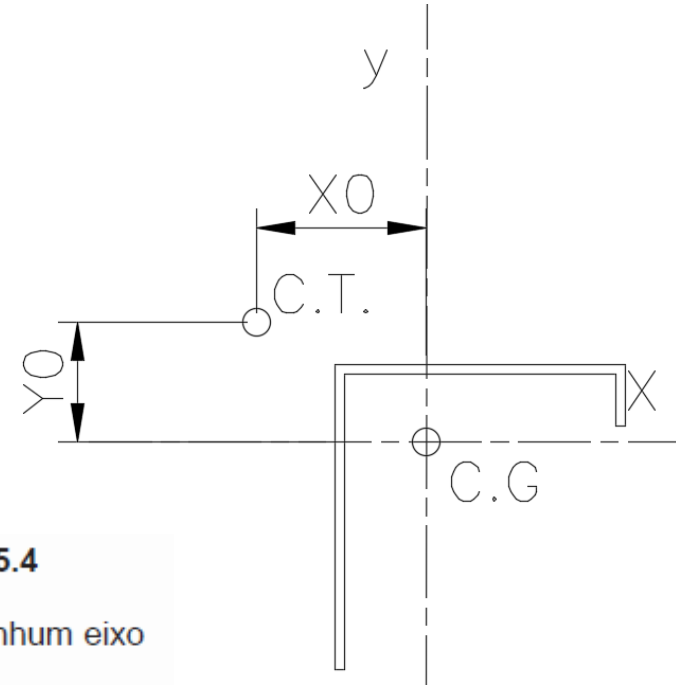
DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Passo 1: Determinar a carga crítica de flambagem elástica

Seções Assimétricas, exceto cantoneiras simples

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} \quad \text{ou} \quad N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2}$$

$$N_{ez} = \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]}{r_0^2} \quad r_0^2 = r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2$$



5.3.5.3 Seções assimétricas, exceto o caso de cantoneiras simples previsto em 5.3.5.4

A força axial de flambagem, N_e , de uma barra com seção transversal assimétrica (sem nenhum eixo de simetria) é dada pela menor das raízes da seguinte equação cúbica:

$$(N_e - N_{ex})(N_e - N_{ey})(N_e - N_{ez}) - N_e^2(N_e - N_{ey})\left(\frac{x_0}{r_0}\right)^2 - N_e^2(N_e - N_{ex})\left(\frac{y_0}{r_0}\right)^2 = 0$$

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

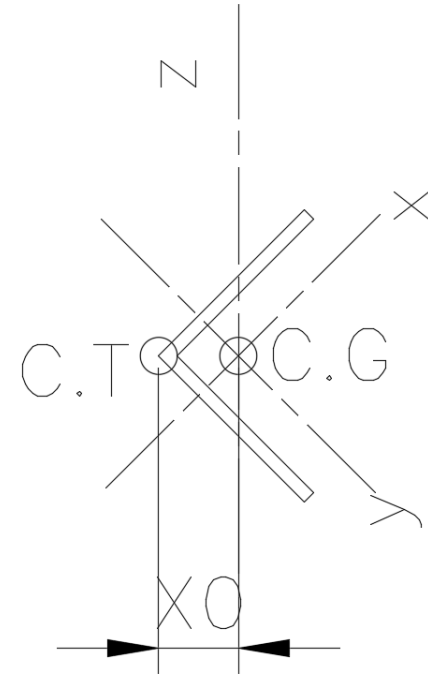
Passo 1: Determinar a carga crítica de flambagem elástica

Cantoneiras Simples Conectadas por uma aba

Condições:

- Devem ser conectadas pela mesma aba por solda ou ao menos dois parafusos nas duas extremidades
- Não deve apresentar flexão
- $L1(eq)/r_{x1} < 200$
- Relação Aba maior / Aba menor $< 1,70$
- $b/t < 0,71\sqrt{E/f_y}$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{x1}}{L_{x1eq}^2}$$



DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Passo 1: Determinar a carga crítica de flambagem elástica

Cantoneiras Simples Conectadas por uma aba

5.3.5.4.2 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:

a) quando $L_{x1}/r_{x1} \leq 80$, $L_{x1,eq} = 72r_{x1} + 0,75L_{x1}$

b) quando $L_{x1}/r_{x1} > 80$, $L_{x1,eq} = 32r_{x1} + 1,25L_{x1}$

onde

L_{x1} é o comprimento da cantoneira, considerado 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.

Nas cantoneiras de abas desiguais com relação entre as larguras das abas de até 1,7 e conectadas na menor aba, $L_{x1,eq}$ não pode ser considerado inferior aos seguintes valores:

— $0,95 L_{x1} r_{x1}/r_{\min}$

— dado em 5.3.5.4.2-a) e 5.3.5.4.2-b), aumentado de $4 \left[\left(\frac{b_e}{b_s} \right)^2 - 1 \right] r_{x1}$

onde

r_{\min} é o raio de giração mínimo da cantoneira;

b_e é a largura da maior aba da cantoneira;

b_s é a largura da menor aba da cantoneira.

5.3.5.4.3 Para cantoneiras de abas iguais ou de abas desiguais conectadas pela aba de maior largura, que são diagonais ou montantes de treliças espaciais com as barras adjacentes conectadas do mesmo lado das chapas de nó ou das cordas, os critérios são conforme a seguir:

a) quando $L_{x1}/r_{x1} \leq 75$, $L_{x1,eq} = 60r_{x1} + 0,80L_{x1}$

b) quando $L_{x1}/r_{x1} > 75$, $L_{x1,eq} = 45r_{x1} + L_{x1}$

Nas cantoneiras de abas desiguais com relação entre as larguras das abas de até 1,7 e conectadas na menor aba, $L_{x1,eq}$ não pode ser considerado inferior aos seguintes valores:

— $0,82L_{x1} r_{x1}/r_{\min}$

— dado em 5.3.5.4.3-a) e 5.3.5.4.3-b), aumentado de $6 \left[\left(\frac{b_e}{b_s} \right)^2 - 1 \right] r_{x1}$

5.3.5.4.4 Nas cantoneiras com relação b/t que exceda $0,71\sqrt{E/f_y}$, deve ser considerada a flambagem por flexo-torção conforme 5.3.5.2 ou 5.3.5.3, o que for aplicável.

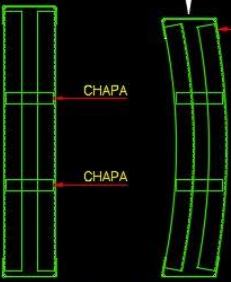
5.3.5.4.5 Cantoneiras simples com ligações diferentes das descritas em 5.3.5.4.2 e 5.3.5.4.3, com relação entre as larguras das abas maior que 1,7 ou com forças transversais, devem ser tratadas como barras submetidas à combinação de força axial e momentos fletores.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Passo 1: Determinar a carga crítica de flambagem elástica

Requisitos específicos para barras compostas

CONFIGURAÇÃO RECOMENDADA PARA TRAVEJAMENTO DE DIAGONAIS

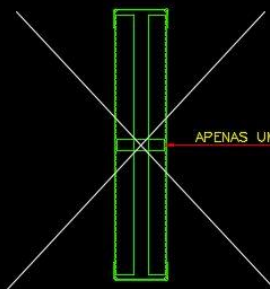


ABA DO PERFIL PODE DEFORMAR DEVIDO À BAIXA ESPESSURA

CHAPA

CHAPA

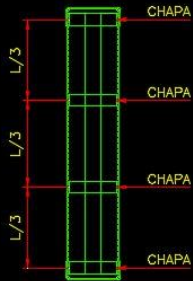
NÃO RECOMENDADO



APENAS UMA CHAPA

ERRADO

DEVE HAVER NO MÍNIMO DUAS CHAPAS AO LONGO DA BARRA



CHAPA

CHAPA

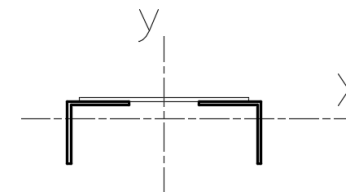
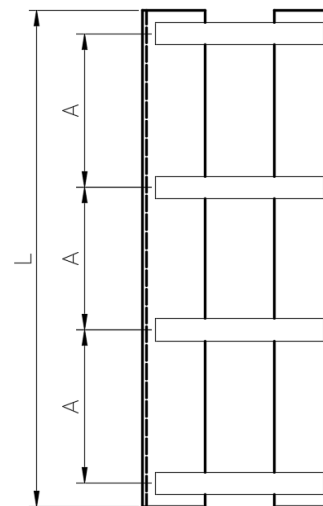
CHAPA

CHAPA

RECOMENDADO

NO MÍNIMO 4 CHAPAS, SENDO DUAS NAS EXTREMIDADES E DUAS DIVIDINDO O 'L' EM 3 PARTES IGUAIS

www.calculistadeaco.com.br



$$A = 0,75 \cdot \left(\frac{L}{r} \max \right) \cdot r_{min}$$

$$N_e = N_{e0} \text{ se } A \leq 40 \cdot r_{min}$$

$$N_e = N_{e0} \cdot \frac{\left(\frac{L}{r} \max \right)^2}{\left(\frac{L}{r} \max \right)^2 + \left(\frac{k_i \cdot A}{r_{min}} \right)} \text{ se } A > 40 \cdot r_{min}$$

K_i

é igual a 0,50 para duas cantoneiras em forma de T, 0,75 para dois perfis U em forma de I e 0,86 para todos os outros casos;

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Passo 2: Determinar se a flambagem global é elástica ou inelástica

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot F_y}{N_e}}$$

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} \text{ se } \lambda_0 \leq 1,5 \text{ (Flambagem inelástica)}$$

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \text{ se } \lambda_0 > 1,5 \text{ (Flambagem Elástica)}$$

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Passo 3: Determinar a área efetiva da seção transversal (flambagem local)

Tabela 4 – 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 (ver 5.1.3) - 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 espaçadoras		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	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 $k_c = 4/\sqrt{h/t_w}$, sendo $0,35 \leq k_c \leq 0,76$

$Se \frac{b}{t} \leq \frac{b}{t}_{lim}$ para todos os elementos, $A_{ef} = A_g$

$se \frac{b}{t} \leq \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow b_{ef} = b$

$se \frac{b}{t} > \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow b_{ef} = b \cdot \left(1 - c_1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{el}}{\chi \cdot F_y}}\right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{el}}{\chi \cdot F_y}}$

$\sigma_{el} = \left(c_2 \cdot \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}}{\left(\frac{b}{t}\right)}\right)^2 \cdot F_y$

Tabela 5 – Fatores c_1 e c_2 para cálculo de flambagem local

Elemento	c_1	c_2
AA (exceto paredes de seções tubulares retangulares)	0,18	1,31
Paredes de seções tubulares retangulares	0,20	1,38
AL	0,22	1,49

$A_{ef} = A_g - \sum (b - b_{ef}) \cdot t$

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Passo 4: Determinar a Resistência à compressão da barra

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot F_y}{1,10}$$

Exercício 4

Determinar a resistência à compressão da coluna destacada

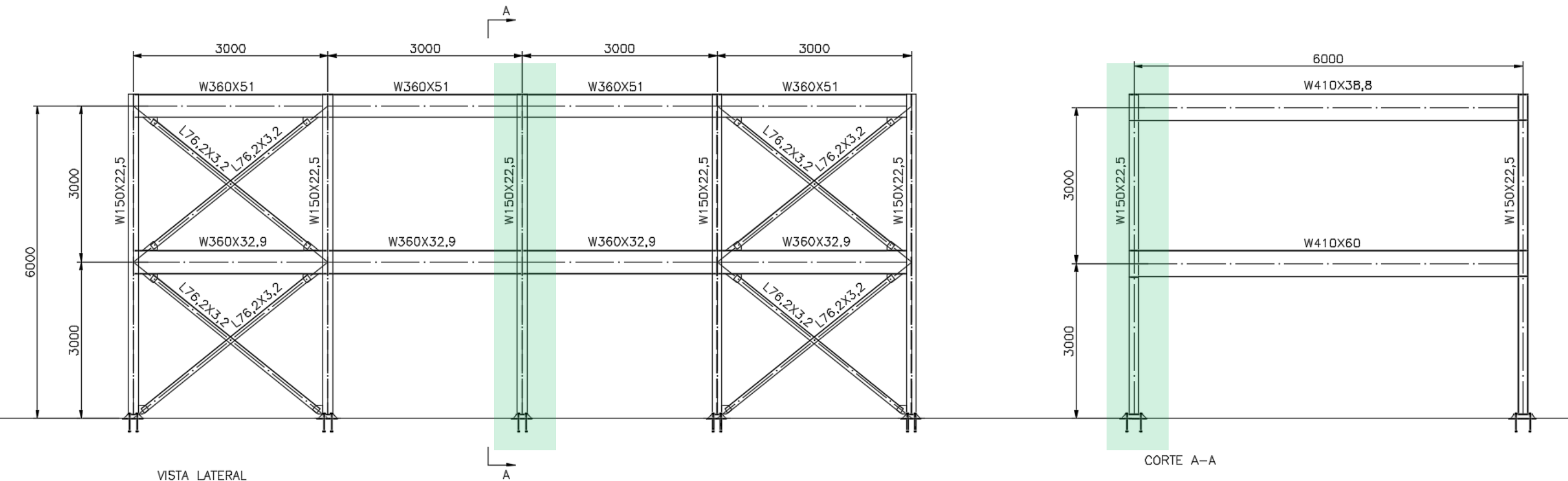


TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d'	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r _x cm	I _x cm ⁴	ESBELTEZ		C _w cm ⁶	u m ² /m	BITOLA mm x kg/m
				t _w mm	t _f 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			ABA - λ _y b _f / 2t _f	ALMA - λ _w d' / t _w			
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	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 150 x 22,5 (H)
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	8.358	479,0	14,09	547,6	291	45,9	2,63	72,0	3,20	9,15	7,47	53,10	84.111	1,17	W 360 x 32,9
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	10.331	585,3	14,35	667,7	375	58,6	2,73	91,9	3,27	15,83	5,98	47,32	109.551	1,18	W 360 x 39,0
W 360 x 44,0	44,0	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	12.258	696,5	14,58	784,3	818	95,7	3,77	148,0	4,43	16,70	8,72	44,70	239.091	1,35	W 360 x 44,0
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	14.222	801,2	14,81	899,5	968	113,3	3,87	174,7	4,49	24,65	7,37	42,75	284.994	1,36	W 360 x 51,0
W 360 x 57,8	57,8	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	16.143	901,8	14,92	1.014,8	1.113	129,4	3,92	199,8	4,53	34,45	6,56	38,96	330.394	1,37	W 360 x 57,8
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,7	17.890	1.031,1	14,80	1.145,5	1.885	185,7	4,80	284,5	5,44	44,57	7,52	37,40	523.362	1,46	W 360 x 64,0
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	20.169	1.152,5	14,86	1.285,9	2.140	209,8	4,84	321,8	5,47	61,18	6,75	33,47	599.082	1,47	W 360 x 72,0
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	22.713	1.283,2	14,98	1.437,0	2.416	235,7	4,89	361,9	5,51	82,41	6,10	30,68	685.701	1,48	W 360 x 79,0
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	12.777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9	3,49	11,69	7,95	55,84	153.190	1,32	W 410 x 38,8
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	15.690	778,7	16,27	891,1	514	73,4	2,95	115,2	3,55	20,06	6,25	50,94	196.571	1,33	W 410 x 46,1
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	18.734	929,7	16,55	1.052,2	1.009	114,0	3,84	176,9	4,56	23,38	8,12	47,63	387.194	1,48	W 410 x 53,0
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	21.707	1.066,7	16,88	1.201,5	1.205	135,4	3,98	209,2	4,65	33,78	6,95	46,42	467.404	1,49	W 410 x 60,0
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	24.678	1.203,8	16,91	1.362,7	1.379	154,1	4,00	239,0	4,67	48,11	6,22	40,59	538.546	1,50	W 410 x 67,0
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	27.616	1.337,3	16,98	1.518,6	1.559	173,2	4,03	269,1	4,70	65,21	5,63	36,80	612.784	1,51	W 410 x 75,0
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	31.658	1.518,4	17,07	1.731,7	1.804	199,3	4,08	310,4	4,74	94,48	4,97	32,72	715.165	1,52	W 410 x 85,0

Exercício 4

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} \rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 1229}{300^2} = 2695,5 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2} \rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 387}{300^2} = 848,8 \text{ kN}$$

$$r_0^2 = r_x^2 + r_y^2 \rightarrow 6,51^2 + 3,65^2 = 55,70$$

$$N_{ez} = \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]}{r_0^2} \rightarrow \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 20417}{300^2} + 7700 \cdot 4,75 \right]}{55,70} = 1460,6 \text{ kN}$$

$$N_e = 848,8 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot F_y}{N_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{29.34,5}{848,8}} = 1,086 \quad \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \rightarrow \chi = 0,658^{1,086^2} = 0,61$$

Exercício 4

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{mesa} = \frac{\left(\frac{b_f}{2}\right)}{t_f} = \frac{\left(\frac{152}{2}\right)}{6,6} = 11,52$$

Elemento AL, Grupo 4

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 13,48$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{alma} = \frac{d'}{t_w} = \frac{119}{5,8} = 20,51$$

Elemento AA, Grupo 2

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 35,9$$

como todos os $\left(\frac{b}{t}\right)$ são inferiores aos $\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}$, $A_{ef} = A_g = 29cm^2$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot F_y}{1,10} = \frac{0,61 \cdot 29 \cdot 34,5}{1,10} = 554,82 \text{ kN}$$

Exercício 5

Determinar a resistência à compressão da coluna destacada

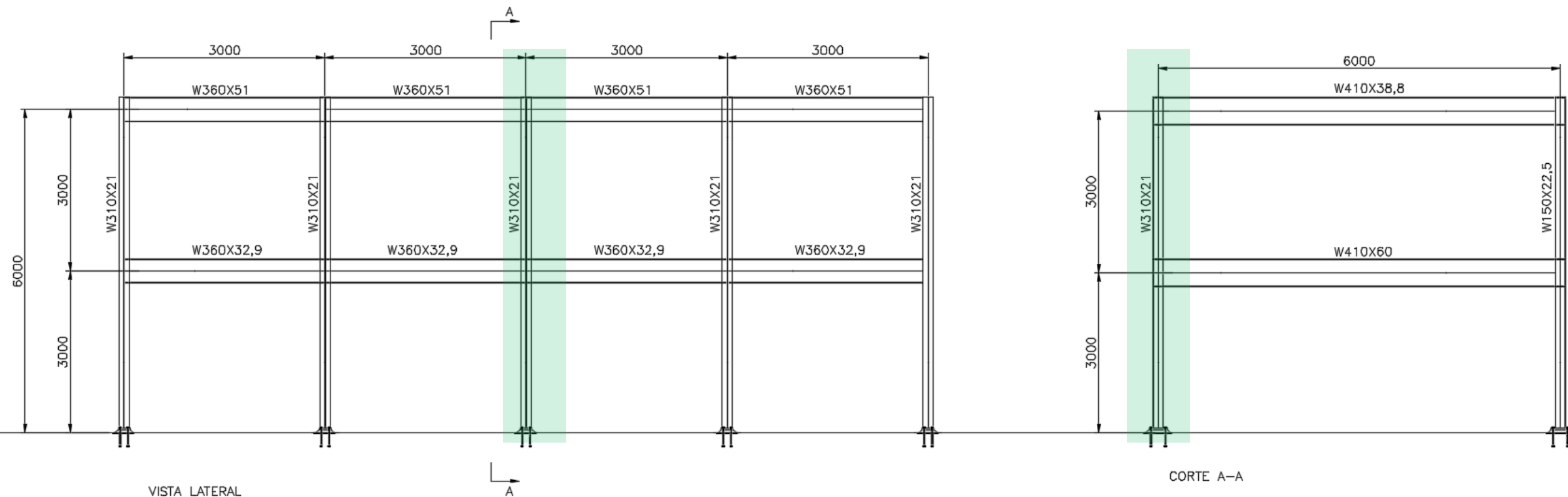


TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r _i cm	I _x cm ⁴	ESBELTEZ		C _w cm ⁶	u m ² /m	BITOLA mm x kg/m
				t _w mm	t _f 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			ABA - λ _y b _f / 2t _f	ALMA - λ _w d' / t _w			
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	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 150 x 22,5 (H)
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3.776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	2,42	3,27	8,86	53,25	21.628	0,98	W 310 x 21,0
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	10.331	585,3	14,35	667,7	375	58,6	2,73	91,9	3,27	15,83	5,98	47,32	109.551	1,18	W 360 x 39,0
W 360 x 44,0	44,0	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	12.258	696,5	14,58	784,3	818	95,7	3,77	148,0	4,43	16,70	8,72	44,70	239.091	1,35	W 360 x 44,0
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	14.222	801,2	14,81	899,5	968	113,3	3,87	174,7	4,49	24,65	7,37	42,75	284.994	1,36	W 360 x 51,0
W 360 x 57,8	57,8	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	16.143	901,8	14,92	1.014,8	1.113	129,4	3,92	199,8	4,53	34,45	6,56	38,96	330.394	1,37	W 360 x 57,8
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,7	17.890	1.031,1	14,80	1.145,5	1.885	185,7	4,80	284,5	5,44	44,57	7,52	37,40	523.362	1,46	W 360 x 64,0
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	20.169	1.152,5	14,86	1.285,9	2.140	209,8	4,84	321,8	5,47	61,18	6,75	33,47	599.082	1,47	W 360 x 72,0
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	22.713	1.283,2	14,98	1.437,0	2.416	235,7	4,89	361,9	5,51	82,41	6,10	30,68	685.701	1,48	W 360 x 79,0
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	12.777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9	3,49	11,69	7,95	55,84	153.190	1,32	W 410 x 38,8
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	15.690	778,7	16,27	891,1	514	73,4	2,95	115,2	3,55	20,06	6,25	50,94	196.571	1,33	W 410 x 46,1
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	18.734	929,7	16,55	1.052,2	1.009	114,0	3,84	176,9	4,56	23,38	8,12	47,63	387.194	1,48	W 410 x 53,0
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	21.707	1.066,7	16,88	1.201,5	1.205	135,4	3,98	209,2	4,65	33,78	6,95	46,42	467.404	1,49	W 410 x 60,0
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	24.678	1.203,8	16,91	1.362,7	1.379	154,1	4,00	239,0	4,67	48,11	6,22	40,59	538.546	1,50	W 410 x 67,0
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	27.616	1.337,3	16,98	1.518,6	1.559	173,2	4,03	269,1	4,70	65,21	5,63	36,80	612.784	1,51	W 410 x 75,0
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	31.658	1.518,4	17,07	1.731,7	1.804	199,3	4,08	310,4	4,74	94,48	4,97	32,72	715.165	1,52	W 410 x 85,0

Exercício 5

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} \rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 3776}{300^2} = 8281,7 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2} \rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 98}{300^2} = 214,93 \text{ kN}$$

$$r_0^2 = r_x^2 + r_y^2 \rightarrow 11,77^2 + 1,90^2 = 142,14$$

$$N_{ez} = \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]}{r_0^2} \rightarrow \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 21628}{300^2} + 7700 \cdot 3,27 \right]}{142,14} = 510,86 \text{ kN}$$

$$N_e = 214,93 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot F_y}{N_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{27,2 \cdot 34,5}{214,93}} = 2,09 \quad \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \rightarrow \frac{0,877}{2,09^2} = 0,20$$

Exercício 5

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{mesa}} = \frac{\left(\frac{b_f}{2}\right)}{t_f} = \frac{\left(\frac{101}{2}\right)}{5,7} = 8,85$$

Elemento AL, Grupo 4

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 13,48$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{alma}} = \frac{d'}{t_w} = \frac{272}{5,1} = 53,25$$

Elemento AA, Grupo 2

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 35,9$$

como todos os $\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{Alma}}$ é superior ao $\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}$, deve – se calcular a área efetiva

Bef para a mesa

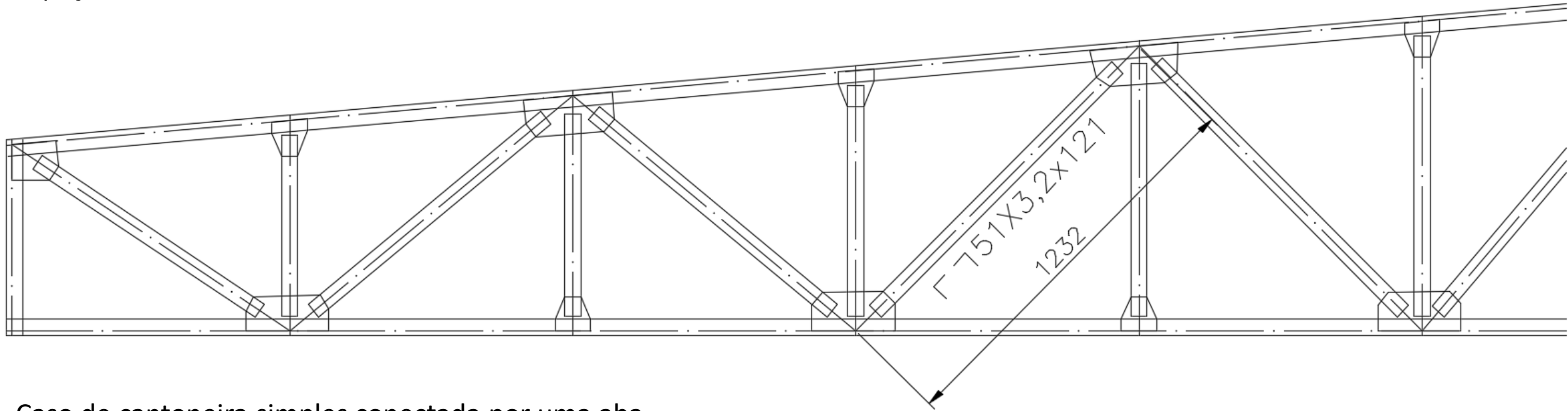
$$\frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}}{\sqrt{\chi}} = \frac{(13,48)}{\sqrt{0,20}} = 30,14 > 8,82, B_{ef_{\text{mesa}}} = b_f = 10,1\text{cm}$$

Bef para alma

$$\frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}}{\sqrt{\chi}} = \frac{(35,9)}{\sqrt{0,20}} = 80,27 > 53,25, b_{ef_{\text{alma}}} = d' = 29,2 \rightarrow A_{ef} = A_g = 27,2 \quad N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot F_y}{1,10} = \frac{0,20 \cdot 27,2 \cdot 34,5}{1,10} = 170,62 \text{ kN}$$

Exercício 6

Determinar a resistência à compressão da diagonal abaixo. Não considerar chapas espaçadoras



Caso de cantoneira simples conectada por uma aba

Exercício 6

b/t = 51/3,2 = 15,94

0,71. sqrt(E/Fy) = 0,71 sqrt(20000/25) = 20 > 15,94

l_x1/r_x1 = 123,2/1,60 = 77 < 80

L_x1eq = 72r_x1 + 0,75L_x1 = 72 . 1,60 + 0,75 . 123,2 = 207,60cm

N_ex = (pi^2 . E . I_x1) / (L_x1eq^2) N_ex = (pi^2 . 20000 . 7,91) / (207,6^2) = 36,22 kN

lambda_0 = sqrt(Ag . Fy / N_e) -> sqrt(3,10 . 25 / 36,22) = 1,46 < 1,5

chi = 0,658^lambda_0^2 -> chi = 0,658^1,46^2 = 0,41

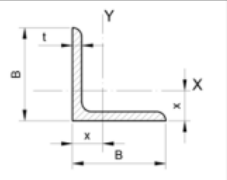


TABELA DE PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS CANTONEIRA LAMINADA DE ABAS IGUAIS											
www.calculistadeaco.com.br											

Aba		Peso	Área	Área de Pintura	Espessura		Esbeltez		Momento de Inércia	Módulo Resistente Elástico	Raio de Giração		Centro Geométrico
B	P	A	u	t		B/t	Qs (A36)	Ix = Iy	Wx = Wy	rx=ry	rz min	x	
pol	cm	kg/m	cm²	m²/m	pol	cm		cm⁴	cm³	cm	cm	cm	
1/2"	1,27	0,55	0,70	0,05	1/8"	0,32	4,01	1,00	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,59	0,71	0,90	0,06	1/8"	0,32	5,01	1,00	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,91	0,87	1,11	0,08	1/8"	0,32	6,01	1,00	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,22	1,04	1,32	0,09	1/8"	0,32	7,00	1,00	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,49	1,90	0,09	3/16"	0,48	4,66	1,00	0,79	0,54	0,66	0,48	0,74
		1,19	1,48	0,10	1/8"	0,32	8,01	1,00	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
1"	2,54	1,73	2,19	0,10	3/16"	0,48	5,34	1,00	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	2,84	0,10	1/4"	0,64	4,00	1,00	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1/4"	3,18	1,50	1,93	0,13	1/8"	0,32	10,02	1,00	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	2,77	0,13	3/16"	0,48	6,67	1,00	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	3,62	0,13	1/4"	0,64	5,00	1,00	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1/2"	3,81	1,83	2,32	0,15	1/8"	0,32	12,02	1,00	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3,42	0,15	3/16"	0,48	8,00	1,00	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	4,45	0,15	1/4"	0,64	6,00	1,00	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
3/4"	4,45	2,14	2,71	0,18	1/8"	0,32	14,02	0,96	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	4,00	0,18	3/16"	0,48	9,34	1,00	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	5,22	0,18	1/4"	0,64	7,00	1,00	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		5,04	6,45	0,18	5/16"	0,79	5,60	1,00	11,20	3,77	1,32	0,86	1,41
2"	5,08	2,46	3,10	0,20	1/8"	0,32	16,03	0,91	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	4,58	0,20	3/16"	0,48	10,67	1,00	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	6,06	0,20	1/4"	0,64	8,00	1,00	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	7,42	0,20	5/16"	0,79	6,40	1,00	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	8,76	0,20	3/8"	0,95	5,34	1,00	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
2 1/2"	6,35	4,57	5,80	0,25	3/16"	0,48	13,34	0,98	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	7,67	0,25	1/4"	0,64	10,00	1,00	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	9,48	0,25	5/16"	0,79	8,00	1,00	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	11,16	0,25	3/8"	0,95	6,67	1,00	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
3"	7,62	5,52	7,03	0,30	3/16"	0,48	16,01	0,91	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	9,29	0,30	1/4"	0,64	12,00	1,00	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	11,48	0,30	5/16"	0,79	9,60	1,00	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	13,61	0,30	3/8"	0,95	8,00	1,00	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		12,34	15,67	0,30	7/16"	1,11	6,86	1,00	83,00	15,60	2,31	1,47	2,31
		14,00	17,74	0,30	1/2"	1,27	6,00	1,00	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
4"	10,16	9,81	12,51	0,41	1/4"	0,64	16,00	0,91	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	15,48	0,41	5/16"	0,79	12,80	1,00	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	18,45	0,41	3/8"	0,95	10,67	1,00	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	21,35	0,41	7/16"	1,11	9,14	1,00	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	24,19	0,41	1/2"	1,27	8,00	1,00	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
		21,26	26,96	0,41	9/16"	1,43	7,11	1,00	254,00	36,10	3,07	1,98	3,07
		23,35	29,73	0,41	5/8"	1,59	6,40	1,00	279,00	39,40	3,05	1,96	3,12
5"	12,70	18,30	23,29	0,51	3/8"	0,95	13,34	0,98	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	30,64	0,51	1/2"	1,27	10,00	1,00	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	37,80	0,51	5/8"	1,59	8,00	1,00	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		35,10	44,76	0,51	3/4"	1,91	6,67	1,00	653,00	73,80	3,81	2,46	3,86
6"	15,24	22,22	28,12	0,61	3/8"	0,95	16,01	0,91	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	37,09	0,61	1/2"	1,27	12,00	1,00	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	45,86	0,61	5/8"	1,59	9,60	1,00	1007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	54,44	0,61	3/4"	1,91	8,00	1,00	1173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
		49,30	62,76	0,61	7/8"	2,22	6,86	1,00	1327,00	124,60	4,60	2,97	4,62

Exercício 6

Elemento AL, Grupo 3

b/t = 0,45. \sqrt{E/F_y} = 0,45 \sqrt{20000/25} = 12,72 < 15,94

(b/t)lim / \sqrt{\chi} = (12,72) / \sqrt{0,41} = 19,86 > 15,94

A_{ef} = A_g

N_{cRd} = 2 \cdot \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot F_y}{1,10} = 2 \cdot \frac{0,41 \cdot 3,10 \cdot 25}{1,10} = 2 \cdot 54,32 = 57,77 kN

Tabela 5 – Fatores c_1 e c_2 para cálculo de flambagem local

Elemento	c_1	c_2
AA (exceto paredes de seções tubulares retangulares)	0,18	1,31
Paredes de seções tubulares retangulares	0,20	1,38
AL	0,22	1,49

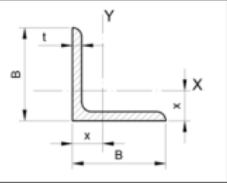
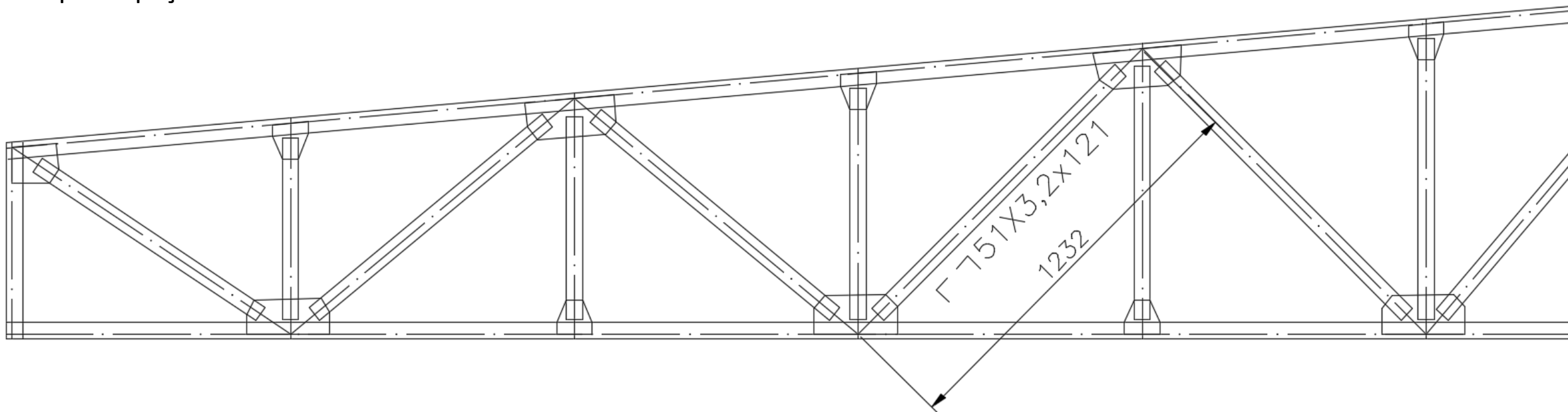


TABELA DE PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS
CANTONEIRA LAMINADA DE ABAS IGUAIS
www.calculistadeaco.com.br

Aba		Peso	Área	Área de Pintura	Espessura		Esbeltez		Momento de Inércia	Módulo Resistente Elástico	Raio de Giração		Centro Geométrico
B		P	A	u	t		B/t	Qs (A36)	Ix = Iy	Wx = Wy	rx=ry	rz min	x
pol	cm	kg/m	cm²	m²/m	pol	cm			cm⁴	cm³	cm	cm	cm
1/2"	1,27	0,55	0,70	0,05	1/8"	0,32	4,01	1,00	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,59	0,71	0,90	0,06	1/8"	0,32	5,01	1,00	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,91	0,87	1,11	0,08	1/8"	0,32	6,01	1,00	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,22	1,04	1,32	0,09	1/8"	0,32	7,00	1,00	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,49	1,90	0,09	3/16"	0,48	4,66	1,00	0,79	0,54	0,66	0,48	0,74
1"	2,54	1,19	1,48	0,10	1/8"	0,32	8,01	1,00	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	2,19	0,10	3/16"	0,48	5,34	1,00	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	2,84	0,10	1/4"	0,64	4,00	1,00	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1/4"	3,18	1,50	1,93	0,13	1/8"	0,32	10,02	1,00	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	2,77	0,13	3/16"	0,48	6,67	1,00	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	3,62	0,13	1/4"	0,64	5,00	1,00	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1/2"	3,81	1,83	2,32	0,15	1/8"	0,32	12,02	1,00	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3,42	0,15	3/16"	0,48	8,00	1,00	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	4,45	0,15	1/4"	0,64	6,00	1,00	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
3/4"	4,45	2,14	2,71	0,18	1/8"	0,32	14,02	0,96	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	4,00	0,18	3/16"	0,48	9,34	1,00	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	5,22	0,18	1/4"	0,64	7,00	1,00	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		5,04	6,45	0,18	5/16"	0,79	5,60	1,00	11,20	3,77	1,32	0,86	1,41
2"	5,08	2,46	3,10	0,20	1/8"	0,32	16,03	0,91	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	4,58	0,20	3/16"	0,48	10,67	1,00	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	6,06	0,20	1/4"	0,64	8,00	1,00	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	7,42	0,20	5/16"	0,79	6,40	1,00	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
2 1/2"	6,35	6,99	8,76	0,20	3/8"	0,95	5,34	1,00	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
		4,57	5,80	0,25	3/16"	0,48	13,34	0,98	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	7,67	0,25	1/4"	0,64	10,00	1,00	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	9,48	0,25	5/16"	0,79	8,00	1,00	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
3"	7,62	8,78	11,16	0,25	3/8"	0,95	6,67	1,00	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
		5,52	7,03	0,30	3/16"	0,48	16,01	0,91	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	9,29	0,30	1/4"	0,64	12,00	1,00	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	11,48	0,30	5/16"	0,79	9,60	1,00	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
4"	10,16	10,71	13,61	0,30	3/8"	0,95	8,00	1,00	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		12,34	15,67	0,30	7/16"	1,11	6,86	1,00	83,00	15,60	2,31	1,47	2,31
		14,00	17,74	0,30	1/2"	1,27	6,00	1,00	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
		9,81	12,51	0,41	1/4"	0,64	16,00	0,91	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
5"	12,70	12,19	15,48	0,41	5/16"	0,79	12,80	1,00	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	18,45	0,41	3/8"	0,95	10,67	1,00	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	21,35	0,41	7/16"	1,11	9,14	1,00	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	24,19	0,41	1/2"	1,27	8,00	1,00	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
6"	15,24	21,26	26,96	0,41	9/16"	1,43	7,11	1,00	254,00	36,10	3,07	1,98	3,07
		23,35	29,73	0,41	5/8"	1,59	6,40	1,00	279,00	39,40	3,05	1,96	3,12
		18,30	23,29	0,51	3/8"	0,95	13,34	0,98	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	30,64	0,51	1/2"	1,27	10,00	1,00	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
6"	15,24	29,80	37,80	0,51	5/8"	1,59	8,00	1,00	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		35,10	44,76	0,51	3/4"	1,91	6,67	1,00	653,00	73,80	3,81	2,46	3,86
		22,22	28,12	0,61	3/8"	0,95	16,01	0,91	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	37,09	0,61	1/2"	1,27	12,00	1,00	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
6"	15,24	36,00	45,86	0,61	5/8"	1,59	9,60	1,00	1007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	54,44	0,61	3/4"	1,91	8,00	1,00	1173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
		49,30	62,76	0,61	7/8"	2,22	6,86	1,00	1327,00	124,60	4,60	2,97	4,62

Exercício 7

Determinar a resistência à compressão da diagonal abaixo. Considerar o uso de chapas espaçadoras



Exercício 7

$$I_x = 2 \cdot 7,91 = 15,82 \text{ cm}^4 \quad I_y = 2 \cdot (I + A \cdot d^2) \rightarrow 2 \cdot \left[7,91 + 3,10 \left(\frac{12,1}{2} - 1,40 \right)^2 \right] = 149,87 \text{ cm}^2$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = \sqrt{\frac{15,82}{2 \cdot 3,10}} = 1,60 \text{ cm} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = \sqrt{\frac{149,87}{2 \cdot 3,10}} = 4,92 \text{ cm}$$

Seções monossimétricas

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 15,82}{123,2^2} = 205,74 \text{ kN} \quad N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2} \rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 149,87}{123,2^2} = 1949 \text{ kN}$$

$$C_w \approx \frac{h^2 \cdot b^3 \cdot t}{12} \cdot \frac{2 \cdot h + 3 \cdot b}{h + 6b} \quad C_w \approx \frac{12,1^2 \cdot 5,1^3 \cdot 0,32}{12} \cdot \frac{2 \cdot 12,1 + 3 \cdot 5,1}{12,1 + 6 \cdot 5,1} = 479 \text{ cm}^6 \quad I_t = \sum \frac{b' \cdot t^3}{3} \quad I_t = 4 \cdot \frac{5,1 \cdot 0,32^3}{3} = 0,22 \text{ cm}^4$$

$$y_0 \approx \frac{3b^2}{h + 6b} + y_g \approx \frac{3 \cdot 5,1^2}{12,1 + 6 \cdot 5,1} + 1,40 = 3,23 \text{ cm} \quad r_0^2 = r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \rightarrow r_0^2 = 1,60^2 + 4,92^2 + 0^2 + 3,23^2 = 37,20 \text{ cm}^2$$

$$N_{ez} = \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]}{r_0^2} \quad N_{ez} = \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 479}{123,2^2} + 7700 \cdot 0,22 \right]}{37,20} = 213 \text{ kN} \quad 1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 = 1 - \left(\frac{3,23}{\sqrt{37,20}} \right)^2 = 0,72$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \left[1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] \quad N_{exz} = \frac{205,74 + 213}{2[0,72]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 205,74 \cdot 213[0,72]}{(205,74 + 213)^2}} \right] = \mathbf{136,85 \text{ kN}}$$

Exercício 7

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot F_y}{N_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{2 \cdot 3,10 \cdot 25}{136,85}} = 1,064 < 1,5$$

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} \rightarrow \chi = 0,658^{1,064^2} = 0,62$$

Elemento AL, Grupo 3

$$\frac{b}{t} = 0,45 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 12,72 < 15,94$$

$$\frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}}{\sqrt{\chi}} = \frac{(12,72)}{\sqrt{0,62}} = 16,15 > 15,94, \text{ logo } B_{ef} = b = 5,1$$

$$A_{ef} = A_g = 2 \cdot 3,10 = 6,20 \text{ cm}^2$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot F_y}{1,10} = \frac{0,62 \cdot 6,20 \cdot 25}{1,10} = \mathbf{87,36 kN}$$

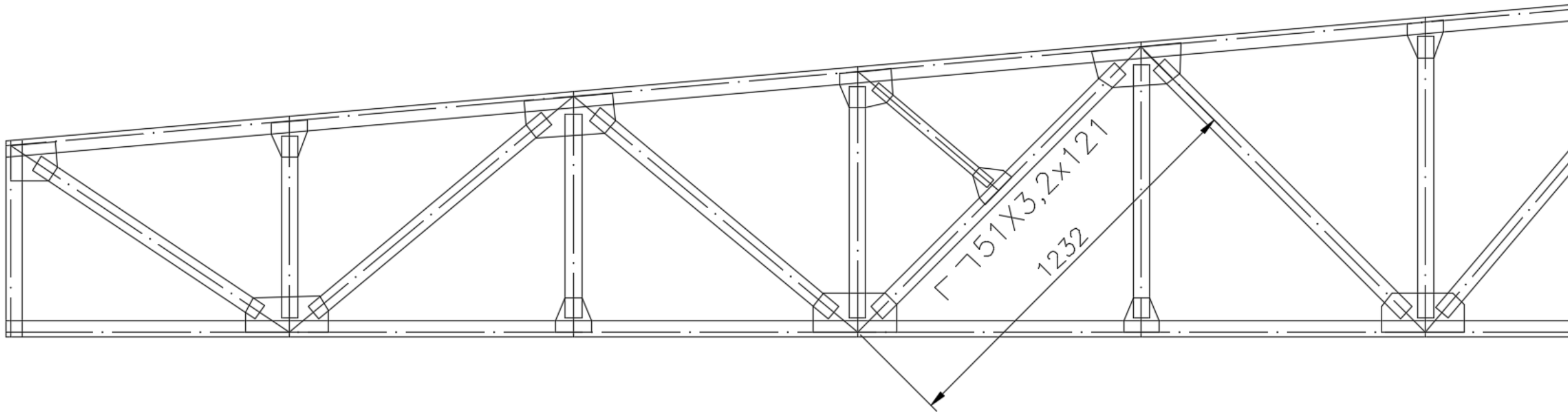
Distância entre chapas espaçadoras

$$A = 40 \cdot r_z = 40 \cdot 1,02 = \mathbf{40,8 cm}$$

$$A = 0,75 \cdot \frac{123,2}{1,60} \cdot 1,02 = 58,9 \text{ cm}$$

Exercício 8

Determinar a resistência à compressão da diagonal abaixo. Considerar o uso de chapas espaçadoras



Exercício 8

$$I_x = 2 \cdot 7,91 = 15,82 \text{ cm}^4 \quad I_y = 2 \cdot (I + A \cdot d^2) \rightarrow 2 \cdot \left[7,91 + 3,10 \left(\frac{12,1}{2} - 1,40 \right)^2 \right] = 149,87 \text{ cm}^2$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = \sqrt{\frac{15,82}{2 \cdot 3,10}} = 1,60 \text{ cm} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = \sqrt{\frac{149,87}{2 \cdot 3,10}} = 4,92 \text{ cm}$$

Seções monossimétricas

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_x^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 15,82}{61,6^2} = 823 \text{ kN} \quad N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_y^2} \rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 149,87}{123,2^2} = 1949 \text{ kN}$$

$$C_w \approx \frac{h^2 \cdot b^3 \cdot t}{12} \cdot \frac{2 \cdot h + 3 \cdot b}{h + 6b} \quad C_w \approx \frac{12,1^2 \cdot 5,1^3 \cdot 0,32}{12} \cdot \frac{2 \cdot 12,1 + 3 \cdot 5,1}{12,1 + 6 \cdot 5,1} = 479 \text{ cm}^6 \quad I_t = \sum \frac{b' \cdot t^3}{3} \quad I_t = 4 \cdot \frac{5,1 \cdot 0,32^3}{3} = 0,22 \text{ cm}^4$$

$$y_0 \approx \frac{3b^2}{h + 6b} + y_g \approx \frac{3 \cdot 5,1^2}{12,1 + 6 \cdot 5,1} + 1,40 = 3,23 \text{ cm} \quad r_0^2 = r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \rightarrow r_0^2 = 1,60^2 + 4,92^2 + 0^2 + 3,23^2 = 37,20 \text{ cm}^2$$

$$N_{ez} = \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_z^2} + G \cdot J \right]}{r_0^2} \quad N_{ez} = \frac{\left[\frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 479}{61,6^2} + 7700 \cdot 0,22 \right]}{37,20} = 715,36 \text{ kN} \quad 1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 = 1 - \left(\frac{3,23}{\sqrt{37,20}} \right)^2 = 0,72$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \left[1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] \quad N_{exz} = \frac{823 + 715,36}{2[0,72]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 823 \cdot 715,36 [0,72]}{(823 + 715,36)^2}} \right] = \mathbf{499 \text{ kN}}$$

Exercício 8

Tabela 5 – Fatores c_1 e c_2 para cálculo de flambagem local

Elemento	c_1	c_2
AA (exceto paredes de seções tubulares retangulares)	0,18	1,31
Paredes de seções tubulares retangulares	0,20	1,38
AL	0,22	1,49

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot F_y}{N_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{2 \cdot 3,10 \cdot 25}{499}} = 0,56 < 1,5$$

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} \rightarrow \chi = 0,658^{0,56^2} = 0,877$$

Elemento AL, Grupo 3

$$\frac{b}{t} = 0,45 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 12,72 < 15,94$$

$$\frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}}{\sqrt{\chi}} = \frac{(12,72)}{\sqrt{0,877}} = 13,58 < 15,94$$

$$\sigma_{el} = \left(c_2 \cdot \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}}{\left(\frac{b}{t}\right)} \right)^2 \cdot F_y \quad \sigma_{el} = \left(1,49 \cdot \frac{12,72}{15,94} \right)^2 \cdot 25 = 35,34 \text{ kN/cm}^2 \quad se \frac{b}{t} > \frac{\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}}{\sqrt{\chi}} \rightarrow b_{ef} = b \cdot \left(1 - c_1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{el}}{\chi \cdot F_y}} \right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{el}}{\chi \cdot F_y}}$$

$$b_{ef} = 5,1 \cdot \left(1 - 0,22 \cdot \sqrt{\frac{35,34}{0,877 \cdot 25}} \right) \cdot \sqrt{\frac{35,34}{0,877 \cdot 25}} = 4,67 \quad A_{ef} = A_g - \sum (b - b_{ef}) \cdot t \quad A_{ef} = 2 \cdot [3,10 - 2 \cdot (5,1 - 4,67) \cdot 0,32] = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot F_y}{1,10} = \frac{0,877 \cdot 5,65 \cdot 25}{1,10} = \mathbf{112,62 \text{ kN}}$$

Distância entre chapas espaçadoras

$$A = 40 \cdot r_z = 40 \cdot 1,02 = 40,8 \text{ cm}$$

$$A = 0,75 \cdot \frac{61,6}{1,60} \cdot 1,02 = \mathbf{29,45 \text{ cm}}$$

Exercício 8

Verificação das Chapas espaçadoras

$$F_{br} = 0,01 \cdot N_{sd} \rightarrow F_{br} = 0,01 \cdot 112,62 = 1,13 \text{ kN}$$

$$S_{br} = \frac{2 \left(4 - \frac{2}{n}\right) \cdot 1,35 \cdot N_{sd}}{L_{bc}} \rightarrow \frac{2 \left(4 - \frac{2}{5}\right) \cdot 1,35 \cdot 112,62}{25,2} = 43,43 \text{ kN/cm}$$

$$k = \frac{E \cdot A}{L} = \frac{20000 \cdot 2,54 \cdot 0,32}{8,9} = 1826,51 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} > 43,43 \text{ OK}$$

$$I = \frac{2,54 \cdot 0,32^3}{12} = 0,007 \text{ cm}^4 \quad N_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 0,007}{8,9^2} = 17,44 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g \cdot F_y}{N_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{2,54 \cdot 0,32 \cdot 25}{17,44}} = 1,08 < 1,5 \quad \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \rightarrow \chi = 0,658^{1,08^2} = 0,61$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot F_y}{1,10} = \frac{0,61 \cdot 0,32 \cdot 2,54 \cdot 25}{1,10} = 11,26 \text{ kN} > 1,13 \text{ kN OK!}$$

