

ESTRUTURAS METÁLICAS

DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A
NBR-8800:2008

Peças Comprimidas

Prof Marcelo Leão – Cel
Prof Moniz de Aragão – Maj

Peças Comprimidas

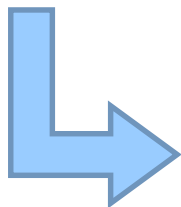
NBR 8800:2008

- Item 5.3 – Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd}$$

$N_{c,Sd}$: força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$: força axial de compressão resistente de cálculo;



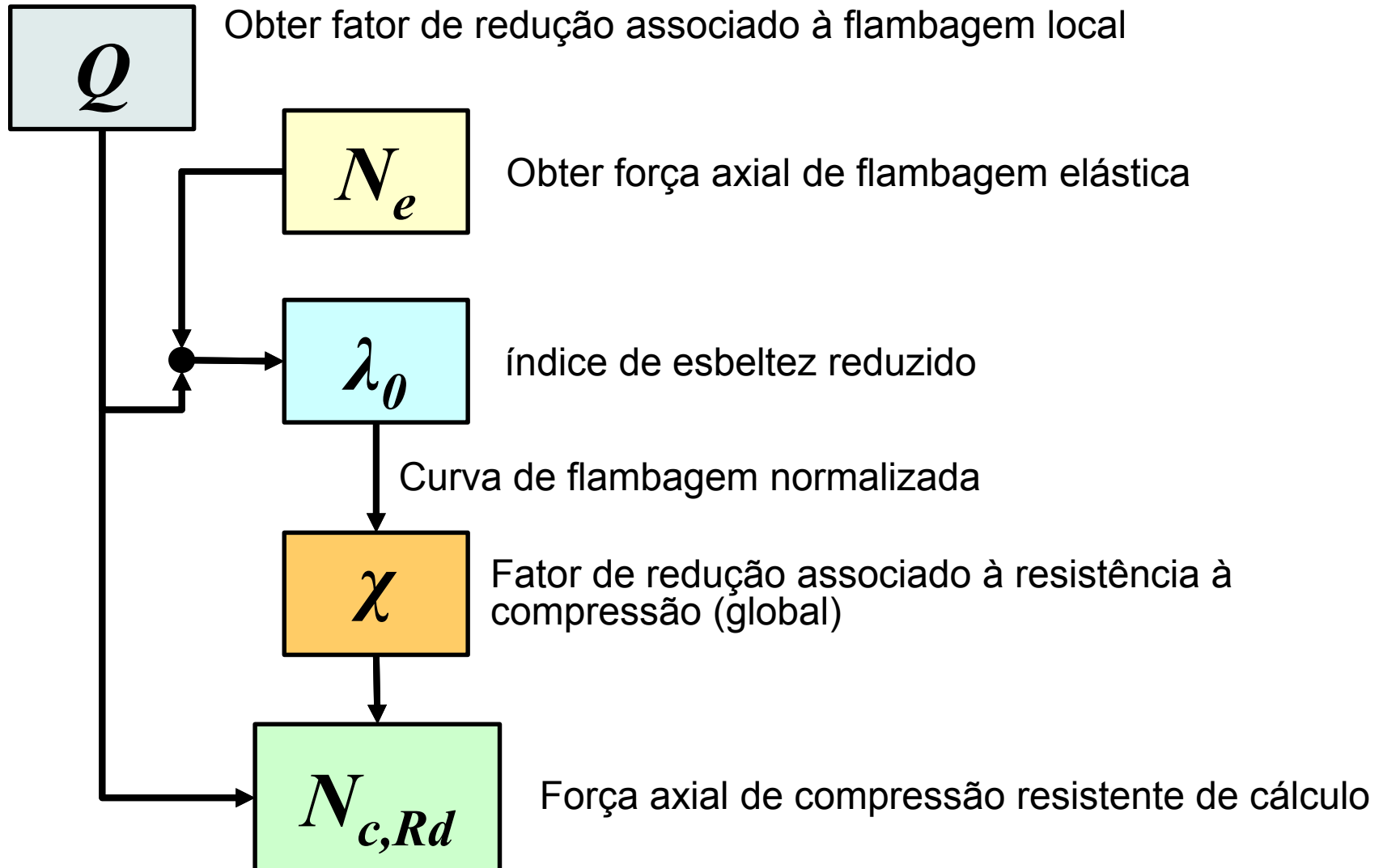
$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$

$\chi \equiv$ Fator de redução associado à **resistência à compressão**

$Q \equiv$ Fator de redução associado à **flambagem local**

⇒ Estados-limites últimos de **instabilidade** por **flexão, torção ou flexo-torção**

Roteiro



Peças Comprimidas

Coeficientes de ponderação

Força resistente de cálculo:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

| Combinações | Aço estrutural, pinos e parafusos (γ_a) | |
|----------------------------|--|---------------------------|
| | Escoamento e Instabilidade (γ_{a1}) | Ruptura (γ_{a2}) |
| Normais | 1,10 | 1,35 |
| Especiais ou de construção | 1,10 | 1,35 |
| Excepcionais | 1,00 | 1,15 |

f_d - resistência de cálculo ou projeto

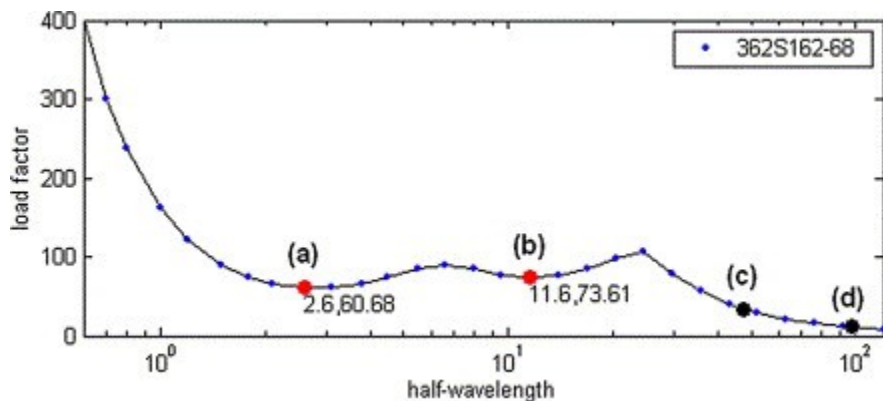
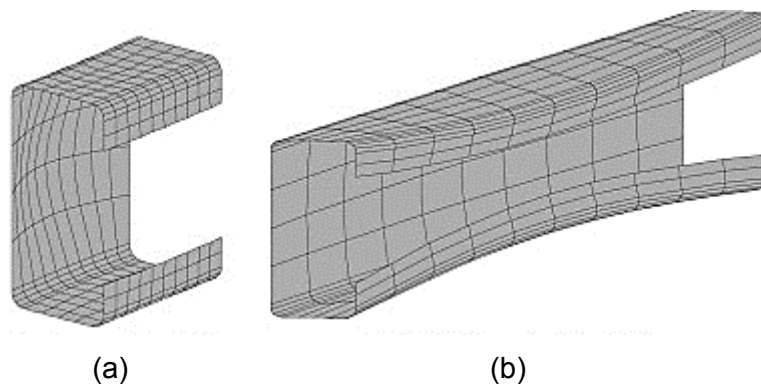
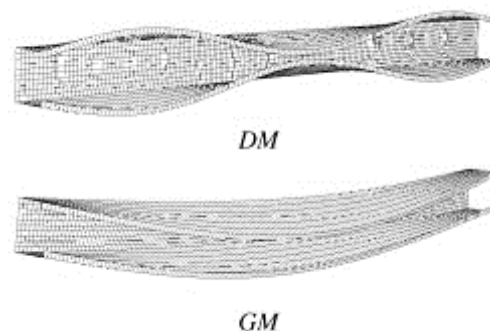
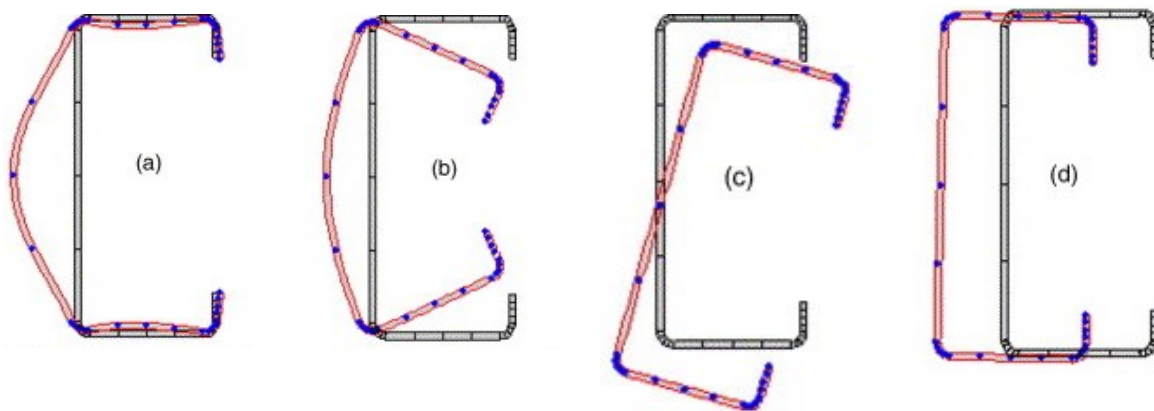
f_k - resistência característica

γ_m - coeficiente de ponderação

Obtendo Q

Modos de Flambagem

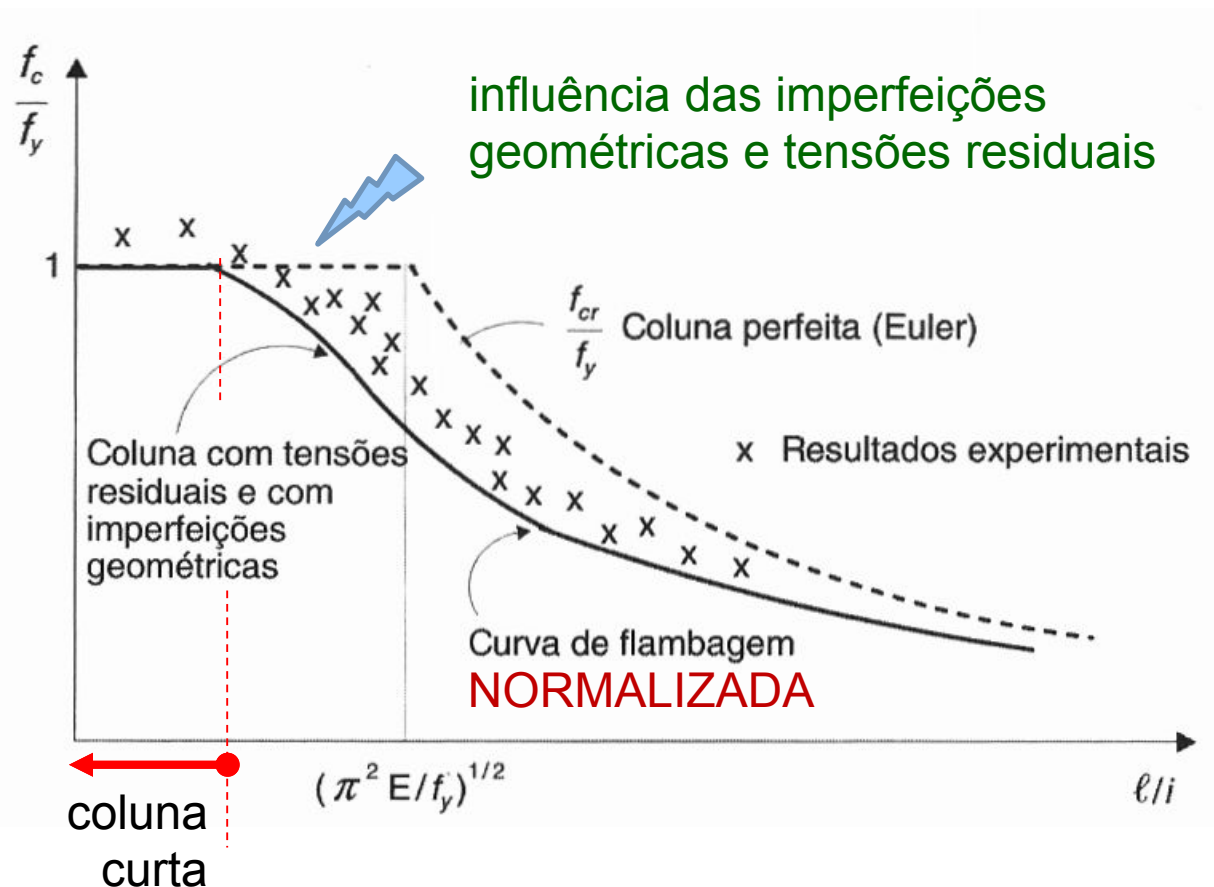
- Flambagens local, distorcional e globais de um perfil aberto de paredes esbeltas, enrijecido (PFF):



Obtendo Q

Flambagem – índice de esbeltez reduzido

- Variação da resistência de uma coluna comprimida em função do índice de esbeltez $\lambda = \ell / i$:

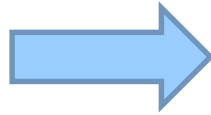


Curva de Flambagem Normalizada

índice de esbeltez reduzido

Carga crítica de Euler:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{\ell^2}$$



$$\lambda_{lim} = \frac{\ell_{lim}}{i} = \frac{\sqrt{\frac{\pi^2 EI}{N}}}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 EA}{N}} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}}$$

limite teórico
pré-instabilidade

índice de esbeltez reduzido:

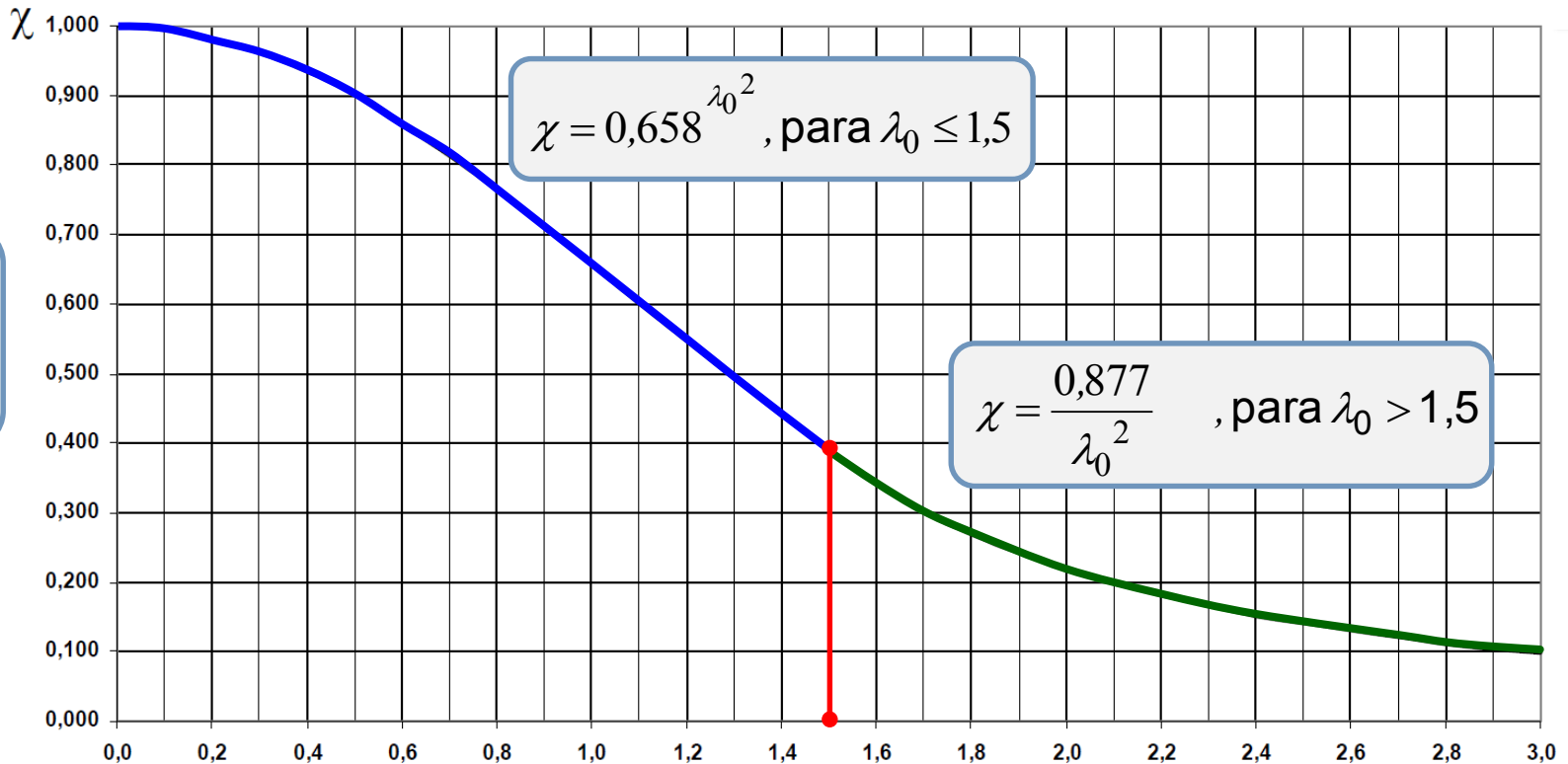


$$\lambda_0 = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}} = \frac{\sqrt{\frac{\ell^2 A}{I}}}{\sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}}} = \sqrt{\frac{A_g f_y}{\pi^2 EI}} = \sqrt{\frac{A_g f_y}{N_e/Q}}$$

Curva de Flambagem Normalizada

fator de redução χ

$$\chi = \frac{f_c}{f_y}$$



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

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

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

λ_0

Obtendo Q

NBR 8800:2008 – Anexo F

Elementos que fazem parte das seções transversais usuais são classificados em:

AA (duas bordas longitudinais vinculadas)

AL (apenas uma borda longitudinal vinculada)

As barras submetidas à força axial de compressão, nas quais todos os elementos componentes da seção transversal possuem **relações entre largura e espessura** que não superam os valores dados na Tabela F.1, têm o fator de redução total:

$$Q = 1$$

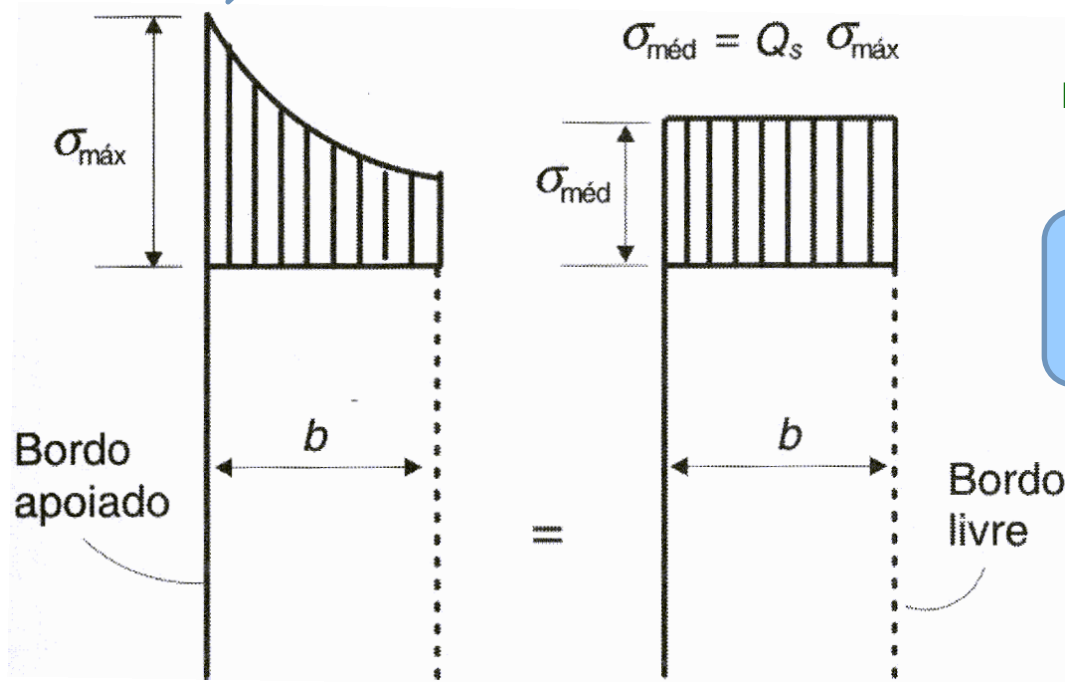
Caso contrário, deverá ser calculado segundo itens F.2 ou F.3 da NBR 8800:2008.

Obtendo Q

Fator de redução associado à flambagem local

Placa **AL** (bordo Apoiado - bordo Livre): Não existe resistência após a flambagem

Variação das tensões devida à instabilidade, havendo concentração junto ao bordo apoiado



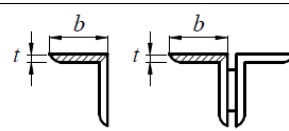
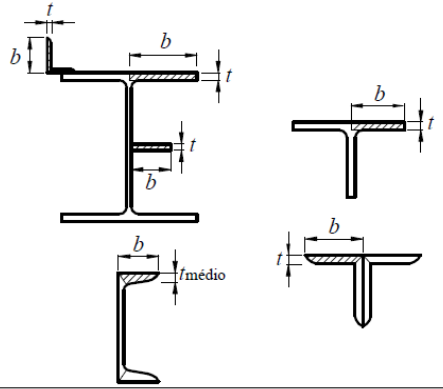
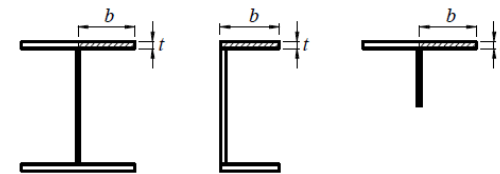
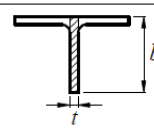
Logo, o dimensionamento é feito numa situação pré-flambagem, considerando-se uma tensão média reduzida

$$Q_s < 1$$

Obtendo Q - NBR 8800:2008 - Anexo F

Valores limites de b/t para impedir flambagem local

Tabela F.1 — Valores de $(b/t)_{lim}$

| Elementos | Grupo | Descrição dos elementos | Alguns exemplos com indicação de b e t | $(b/t)_{lim}$ |
|-----------|---|--|---|-------------------------------------|
| AL | 3 | Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travessamento |  | $0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ |
| | 4 | Mesas de seções I, H, T ou U laminadas Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas |  | $0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ |
| | 5 | Mesas de seções I, H, T ou U soldadas ^a |  | $0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$ |
| | 6 | Almas de seções T |  | $0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ |
| | ^a O coeficiente k_c é dado em F.2. | | | |

Elementos **AL**

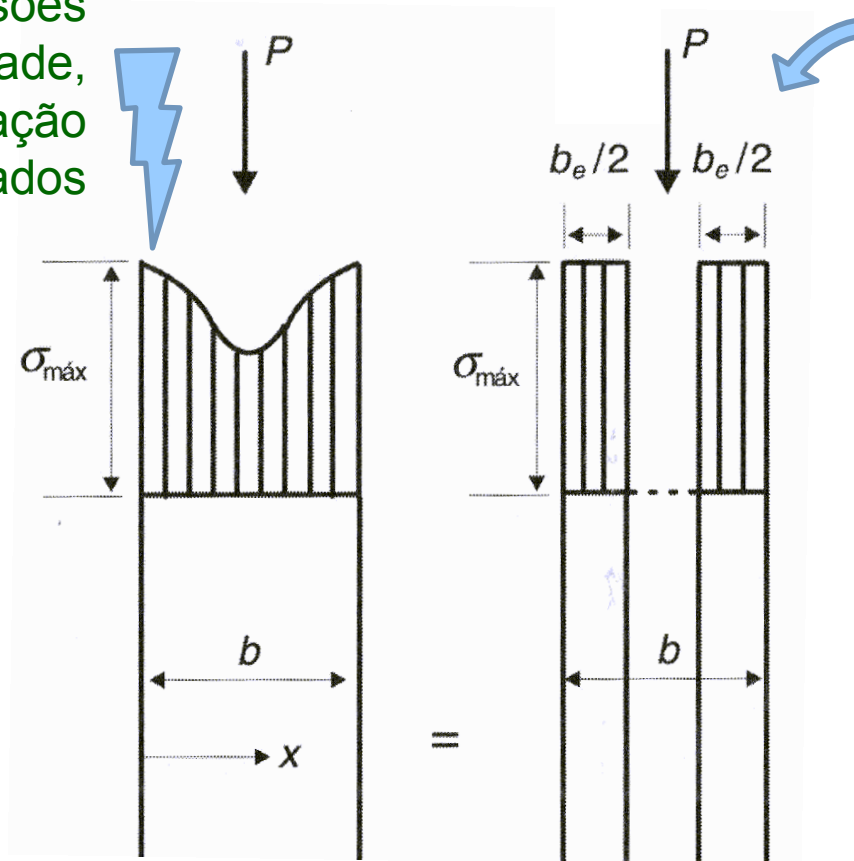
(apenas uma borda longitudinal vinculada, "não-enrijecidos")

Obtendo Q

Fator de redução associado à flambagem local

Placa **AA** (bordo Apoiado - bordo Apoiado): existe resistência após a flambagem

Varição das tensões devida à instabilidade, havendo concentração nos bordos apoiados



Consideração de uma largura efetiva resistente:

$$b_e = Q_a b$$
$$Q_a < 1$$

Obtendo Q - NBR 8800:2008 - Anexo F

Valores limites de b/t para impedir flambagem local

Elementos **AA** (duas bordas longitudinais vinculadas, "enrijecidos")

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 | <ul style="list-style-type: none"> — 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 | <ul style="list-style-type: none"> — Almas de seções I, H ou U — Mesas ou almas de seção-caixão — Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1 | | $1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ |

Fator de Redução Q

Resumo

- Associado à *flambagem local*
- Anexo F da NBR-8800:2008
 - Tabela F.1: Valores de $(b/t)_{lim}$
 - $(b/t) \leq (b/t)_{lim} \rightarrow Q = 1,0$
 - $(b/t) > (b/t)_{lim} \rightarrow Q = Q_a Q_s$
 - Q_a : Associado a elementos AA (item F.3)
 - Q_s : Associado a elementos AL (item F.2)
 - Seções tubulares: item F.4

Obtendo N_e - NBR 8800:2008 – Anexo E

Força axial de flambagem elástica

- Seções **duplamente simétricas** ou **simétricas em relação a um ponto**:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2}; \quad N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (\text{flambagem por flexão})$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \quad (\text{flambagem por torção})$$

- C_w – constante de empenamento da seção
- r_0 – raio de giração polar em relação ao centro de cisalhamento

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2}$$

Obtendo N_e - NBR 8800:2008 - Anexo E

Força axial de flambagem elástica

- Seções **monossimétricas** (exceto cantoneiras simples):

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

$$N_{eyz} = \frac{N_{ey} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4N_{ey}N_{ez} \left[1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right]}{(N_{ey} + N_{ez})^2}} \right]$$

Obtendo N_e - NBR 8800:2008 - Anexo E

Força axial de flambagem elástica

- Seções **assimétricas**: **menor** das raízes da equação cúbica:

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

- **Cantoneiras Simples**











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

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

NBR 8800:2008 – Anexo E

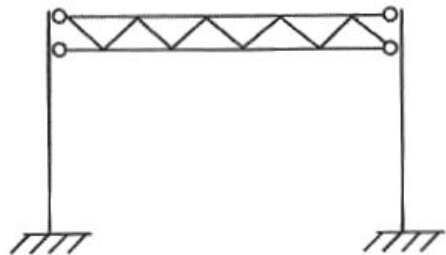
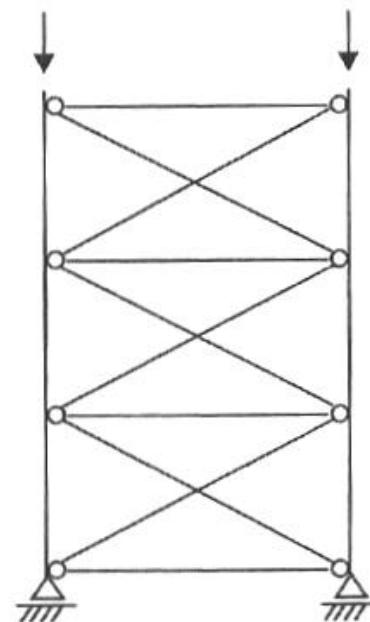
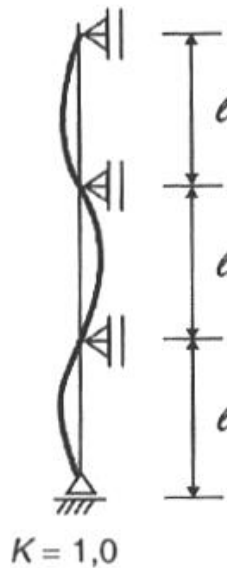
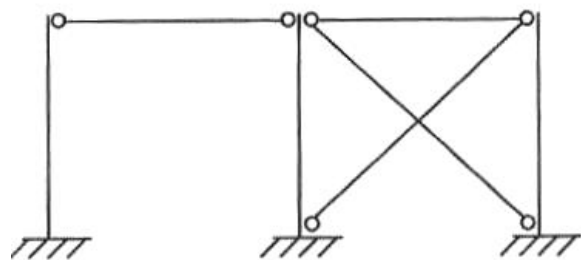
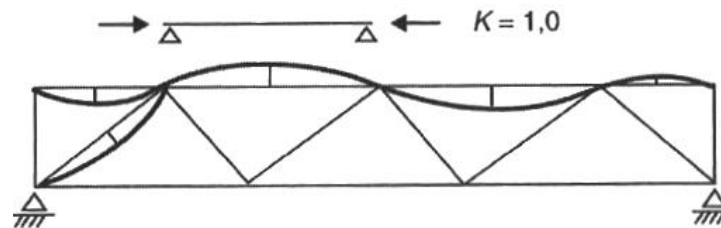
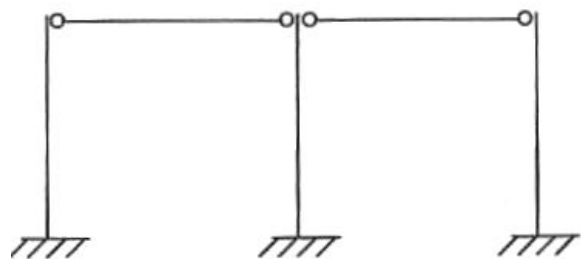
Coeficiente de Flambagem K

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 | | | | |

NBR 8800:2008 – Anexo E

Coeficiente de Flambagem K



Coeficiente de Flambagem

- Flexo-Torção (K_z)
 - 1,00, quando ambas as extremidades da barra possuírem rotação em torno do eixo longitudinal impedida e empenamento livre;
 - 2,00, quando uma das extremidades da barra possuir rotação em torno do eixo longitudinal e empenamento livres e, a outra extremidade, rotação e empenamento impedidos
- O índice de esbeltez das barras comprimidas (KL/r), não deve ser superior a **200**.

Roteiro Dim. Compressão - NBR 8800:2008

Fator de red. flambagem local

Q

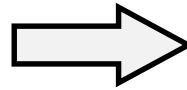
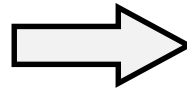


Tabela F.1: $(b/t) \leq (b/t)_{lim} \Rightarrow Q = 1,0$

Força axial flambagem elástica

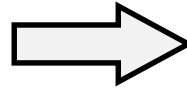
N_e



Anexo E: $N_{ex}; N_{ey}; N_{ez}$

índice de esbeltez reduzido

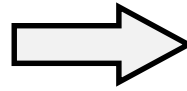
λ_0



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

Fator de red. resistência à compressão

χ



$$\chi \begin{cases} 0,658^{\lambda_0^2}, & \text{para } \lambda_0 \leq 1,5 \\ \frac{0,877}{\lambda_0^2}, & \text{para } \lambda_0 > 1,5 \end{cases}$$

força axial compressão resistente de cálculo

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$