

## Barras prismáticas submetidas à combinação de esforços solicitantes

As considerações desta seção são aplicáveis à verificação dos estados limites últimos de barras prismáticas sujeitas aos efeitos de momento fletor e força cortante, força axial e momento de torção.

Essas verificações somente são aplicáveis às seguintes condições:

- Seções I e H com dois eixos de simetria, fletidas em relação a um desses eixos;
- Seções I e H com apenas um eixo de simetria, situado no plano médio da alma, fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular à alma;
- seções T fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular à alma;
- Seções constituídas por duas cantoneiras em forma de T, fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular ao eixo de simetria;
- Seções U fletidas em relação a um dos eixos centrais de inércia;
- Seções caixão e tubulares retangulares com dois eixos de simetria fletidas em relação a um desses eixos;
- Seções sólidas circulares ou retangulares fletidas em relação a um dos eixos centrais de inércia;
- seções tubulares circulares fletidas em relação a qualquer eixo que passe pelo centro geométrico.

### 8.1 Barras submetidas a momentos fletores, força axial e forças cortantes

A condição a ser atendida pelas barras submetidas aos efeitos combinados de força axial e momento fletor, carregadas de forma que não ocorra torção é definida por:

$$C_1 \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + C_2 \left( \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (8.1)$$

sendo as constantes definidas por:

$$C_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2 \\ \frac{1}{2} & \text{para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2 \end{cases} \quad (8.2)$$

$$C_2 = \begin{cases} \frac{8}{9} & \text{para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2 \\ 1,0 & \text{para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2 \end{cases} \quad (8.3)$$

onde:

$N_{Sd}$  é a força axial solicitante de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

$N_{Rd}$  é a força axial resistente de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

$M_{x,Sd}$  e  $M_{y,Sd}$  são os momentos fletores solicitantes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos x e y da seção transversal;

$M_{x,Rd}$  e  $M_{y,Rd}$  são os momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos  $x$  e  $y$  da seção transversal;

Para os casos de força cortante atuante na direção de um dos eixos centrais de inércia, a verificação da barra a esse esforço deve ser feita de forma usual, considerando-o desacoplado dos esforços axiais e de momento fletor.

Para os casos de forças cortantes que atuam simultaneamente nas direções dos dois eixos centrais de inércia, devem ser verificados os estados limites de escoamento sob efeito de tensão de cisalhamento e os estados-limites de instabilidade ou flambagem sob efeito de tensão de cisalhamento, definidos mais adiante.

## 8.2 Barras submetidas a momento de torção, força axial, momentos fletores e forças cortantes

Quando o momento de torção solicitante de cálculo,  $T_{Sd}$ , for inferior ou igual a 20 % do momento de torção resistente de cálculo,  $T_{Rd}$ , o efeito da torção pode ser desprezado e a interação entre os demais esforços é calculada conforme a seção anterior.

Quando  $T_{Sd}$  for superior a 20 % de  $T_{Rd}$ , deve ser utilizada a seguinte expressão de interação para a verificação:

$$\left( \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \right) + \left( \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} + \frac{T_{Sd}}{T_{Rd}} \right)^2 \leq 1,0 \quad (8.4)$$

sendo:

$N_{Sd}$  é a força axial solicitante de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

$N_{Rd}$  é a força axial resistente de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

$M_{Sd}$  é momento fletor solicitante de cálculo;

$M_{Rd}$  é momento fletor resistente de cálculo;

$V_{Sd}$  é a força cortante solicitante de cálculo;

$V_{Rd}$  é a força cortante resistente de cálculo;

$T_{Sd}$  é momento de torção solicitante de cálculo;

$T_{Rd}$  é momento de torção resistente de cálculo;

## 8.3 Seções quaisquer submetidas a momento de torção, força axial, momentos fletores e forças cortantes

No caso de barras com seção transversal de qualquer formato, fechado ou aberto, solicitada por momento torsor, força axial, momento fletor e força cortante ao mesmo tempo, pode ser feita uma verificação em termos dos estados limites definidos para as tensões normais, que resultam em esforços axiais e momentos fletores, e tensões de cisalhamento, que resultam em força cortante e momento torsor. Esses estados limites são de escoamento e de instabilidade.

A condição de segurança é definida para as tensões normais por:

$$\sigma_{Sd} \leq \sigma_{Rd} \quad (8.5)$$

E para as tensões de cisalhamento por:

$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd} \quad (8.6)$$

As tensões solicitantes são encontradas através de análises mais completas da barra em questão, como por exemplo, simulações tridimensionais de elementos finitos.

As tensões resistentes são definidas em função dos estados limites de escoamento e instabilidade.

**Tensão normal****Estado limite de escoamento**

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{a1}} \quad (8.7)$$

**Estado limite de instabilidade**

$$\sigma_{Rd} = \frac{\chi f_y}{\gamma_{a1}} \quad (8.8)$$

**Tensão de cisalhamento****Estado limite de escoamento**

$$\tau_{Rd} = \frac{0,6f_y}{\gamma_{a1}} \quad (8.9)$$

**Estado limite de instabilidade**

$$\tau_{Rd} = \frac{0,6\chi f_y}{\gamma_{a1}} \quad (8.10)$$

nas quais:

$\chi$  é o fator de redução associado à resistência à compressão, calculado usando:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_e}} \quad \text{para tensões normais}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{0,6f_y}{\tau_e}} \quad \text{para tensões de cisalhamento}$$

nas quais  $\sigma_e$  é igual a tensão crítica de flambagem local elástica normal e  $\tau_e$  é igual a tensão crítica de flambagem local elástica de cisalhamento.

A tensão crítica de flambagem elástica normal é definida para placa isolada (figura 8.1) e pode ser calculada por:

$$\sigma_e = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (8.11)$$

na qual:

$b$  largura da placa isolada;

$t$  espessura da placa isolada;

$k$  é um coeficiente que depende das condições de apoio da placa e da relação largura ( $b$ ) espessura ( $t$ ).

A tensão crítica de flambagem elástica de cisalhamento é definida para placa isolada (figura 8.1) e pode ser calculada por:

$$\tau_e = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2} \quad (8.12)$$

na qual:

$h$  é a largura da placa;

$t$  espessura da placa;

$k$  é um coeficiente que depende das condições de apoio da placa e do espaçamento  $a$  entre enrijecedores transversais.

Os coeficientes  $k$  podem ser obtidos no livro Theory of Elastic Stability, Timoshenko e Gere (1985), na seção de Flambagem de Placas Finas.

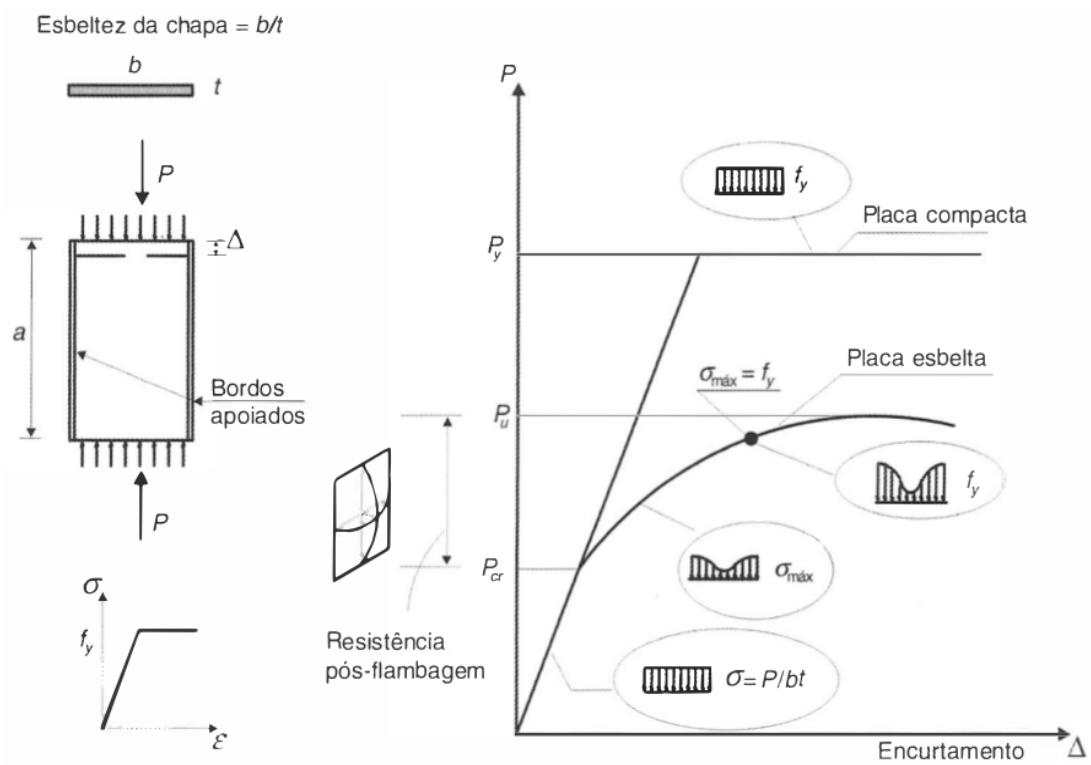


Figura 8.1: Comportamento da placa isolada perfeita sob compressão.