

Barras prismáticas submetidas ao esforço cortante

O dimensionamento de barras prismáticas submetidas ao esforço cortante é função, principalmente, do tipo do carregamento transversal, ou seja, para carregamentos distribuídos ou concentrados.

No caso de carregamentos distribuídos a verificação é feita de forma global no perfil, de acordo com os máximos valores do diagrama de esforços cortantes. Para carregamentos concentrados, as verificações são locais e a resistência dessa região local do perfil é comparada diretamente ao carregamento aplicado.

A resistência ao cisalhamento sempre é dada pelos elementos da seção que são paralelos a direção do carregamento transversal aplicado. Por exemplo, para uma viga com seção I fletida no eixo de maior inércia, a resistência ao cisalhamento é dada quase que na sua totalidade pela alma, já que a contribuição das mesas é muito pequena, por isso, apenas a alma, elemento paralelo a direção do carregamento, é considerada como resistente ao cisalhamento.

Caso o perfil não verifique a condição de segurança, tanto para cargas distribuídas como para concentradas, antes de trocá-lo existe a possibilidade de acrescentar enrijecedores de alma para aumentar a resistência ao cisalhamento.

7.1 Condição de Segurança

No dimensionamento das barras submetidas ao esforço cortante deve ser atendida a seguinte condição:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \quad (7.1)$$

Essa verificação é feita em função do diagrama de esforços cortantes.

No caso de cargas concentradas a verificação é feita diretamente com o valor dessa carga, $F_{local,d}$, e a condição de segurança para todos os estados limites aplicáveis é:

$$F_{local,d} \leq F_{Rd} \quad (7.2)$$

A verificação de cargas concentradas é apresentada mais adiante.

7.2 Esforço cortante resistente de cálculo - V_{Rd}

Em seções I, H e U fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular à alma (eixo de maior momento inércia), seções tubulares retangulares e caixão fletidas em relação a um eixo central de inércia, seções T fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular à alma, seções formadas por duas cantoneiras iguais constituindo uma seção tipo T, fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular ao eixo de simetria e seções I e H duplamente simétricas e seções U monossimétricas fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular às mesas (eixo de menor momento de inércia) o procedimento para a determinação do esforço cortante resistente de cálculo é função da compacidade da seção transversal, da mesma forma que para a determinação do momento fletor resistente de cálculo.

Para essa seções, o esforço cortante resistente de cálculo é determinado por:

Seções Compactas - $\lambda \leq \lambda_p$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (7.3)$$

Seções Semicompactas - $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (7.4)$$

Seções Esbeltas - $\lambda > \lambda_r$

$$V_{Rd} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (7.5)$$

Os valores de λ , λ_p e λ_r são dados para todas as seções definidas anteriormente por:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{h}{t_w} \\ \lambda_p &= 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \\ \lambda_r &= 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \end{aligned}$$

nas quais:

k_v é um coeficiente que modifica os valores de λ_p e λ_r em função da existência ou não de enrijecedores de alma. Ele vale:

$$k_v = \begin{cases} 5,0 & \text{para alma sem enrijecedores transversais} \\ 5,0 & \text{caso } \frac{a}{h} > \left(\frac{260 t_w}{h} \right)^2 \\ 5,0 + \frac{5h^2}{a^2} & \text{para todos os outros casos} \end{cases} \quad (7.6)$$

a a distância entre as linhas de centro de dois enrijecedores transversais adjacentes;

V_{pl} é a força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento, que vale:

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y \quad (7.7)$$

sendo A_w a área efetiva de cisalhamento, função da geometria da seção transversal.

A determinação da área efetiva de cisalhamento, A_w , é basicamente o que varia de perfil para perfil.

Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma

Para essas seções a área efetiva de cisalhamento, A_w , vale:

$$A_w = d t_w \quad (7.8)$$

sendo:

d a altura total da seção transversal;

t_w a espessura da alma.

Seções tubulares retangulares e caixão

Seções fechadas como tubulares e caixão não dispõe do artifício do uso de enrijecedores, portanto $k_v = 5,0$ sempre. A área efetiva de cisalhamento, A_w , vale:

$$A_w = 2ht_w \quad (7.9)$$

sendo:

h igual à altura da parte plana das almas nas seções tubulares retangulares e igual à distância entre as faces internas das mesas nas seções caixão;

t_w igual à espessura de uma das almas (as duas almas devem ter a mesma espessura).

Esse valor de h e t_w também devem ser utilizados na determinação de λ .

Seções T fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma

Seções T fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma apesar da possibilidade construtiva do uso, não se aplicam enrijecedores de alma, e, nesse caso, $k_v = 1,2$ sempre. A área efetiva de cisalhamento, A_w , vale:

$$A_w = dt_w \quad (7.10)$$

sendo:

d a altura total da seção transversal;

t_w a espessura da alma.

Esse valor de d e t_w devem ser utilizados na determinação de λ , que ainda é limitado em 260, ou seja:

$$\lambda = \frac{d}{t_w} \leq 260 \quad (7.11)$$

Seções formadas por duas cantoneiras fletidas em relação ao eixo perpendicular ao de simetria

Da mesma forma que seções T, seções compostas por duas cantoneiras fletidas em relação ao eixo perpendicular ao de simetria não se aplica o uso de enrijecedores de alma, e no caso, $k_v = 1,2$ sempre. A área efetiva de cisalhamento, A_w , vale:

$$A_w = 2bt \quad (7.12)$$

sendo:

b a altura total da seção transversal, comprimento da aba da cantoneira paralela a direção da força (perpendicular ao eixo de flexão);

t a espessura da cantoneira (deve ser igual em ambas).

Esse valor de b e t devem ser utilizados na determinação de λ , que ainda é limitado em 260, ou seja:

$$\lambda = \frac{b}{t} \leq 260 \quad (7.13)$$

Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular às mesas

Em seções I, H e U quando fletidas em relação ao eixo perpendicular às mesas, também não dispõe do artifício do uso de enrijecedores, portanto $k_v = 1,2$ sempre. A área efetiva de cisalhamento, A_w , vale:

$$A_w = 2b_f t_f \quad (7.14)$$

sendo:

b_f a largura das mesas;

t_f a espessura média das mesas.

Esse valor de b_f e t_f devem ser utilizados na determinação de λ , ou seja:

$$\lambda = \begin{cases} \frac{b_f}{2t_f} & \text{para seções I e H} \\ \frac{b_f}{t_f} & \text{para seções U} \end{cases} \quad (7.15)$$

Seções tubulares circulares fletidas em relação a um eixo central de inércia

No caso de seções tubulares circulares fletidas em relação a um eixo central de inércia, o valor do esforço cortante resistente de cálculo, não depende da compacidade da seção transversal e é determinado por:

$$V_{Rd} = \frac{0,5\tau_{cr}A_g}{\gamma_a 1} \quad (7.16)$$

sendo:

τ_{cr} a tensão de cisalhamento aproximada no tubo, que pode ser adotada como o maior dos valores:

$$\tau_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,6E}{\sqrt{\frac{L_v}{D}} \left(\frac{D}{t_d} \right)^{\frac{5}{4}}} \\ \frac{0,78E}{\left(\frac{D}{t_d} \right)^{\frac{3}{2}}} \end{array} \leq 0,6f_y \right\} \quad (7.17)$$

D é o diâmetro externo da seção transversal;

t_d é a espessura de cálculo da parede da seção transversal, vale $0,93t$, sendo t a espessura nominal para tubos com costura (criado da soldagem de uma chapa de metal) e vale t , sendo t a espessura nominal para tubos sem costura (laminado em formato tubular);

L_v é a distância entre as seções de forças cortantes máxima e nula.

7.2.1 Enrijecedores de alma

No caso do critério de segurança não ser atingido, antes da troca do perfil, é possível a adoção de enrijecedores transversais para reduzir a esbelteza da peça, modificando sua compacidade, no caso de seções I, H ou U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma.

Devem ser obedecidos os seguintes requisitos:

- Os enrijecedores transversais devem ser soldados à alma e às mesas do perfil;
- Do lado da mesa tracionada, os enrijecedores podem ser interrompidos de forma que a distância entre os pontos mais próximos das soldas entre mesa e alma e entre enrijecedor e alma fique entre $4t_w$ e $6t_w$;

- c) A esbeltez do enrijecedor, relação da largura e espessura, deve obedecer:

$$\lambda = \frac{b}{t} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

- d) O momento de inércia da seção de um enrijecedor, I_{enr} singelo ou de um par de enrijecedores, um de cada lado da alma, em relação ao eixo no plano médio da alma deve respeitar:

$$I_{enr} \geq at_w^3 \left(\frac{2,5h^2}{a^2} - 2 \right) \geq 0,5at_w^3$$

Para um enrijecedor:

$$I_{enr} = \frac{t_{enr}b_{enr}^3}{3}$$

sendo t_{enr} a espessura do enrijecedor e b_{enr} a largura do enrijecedor.

7.3 Mesas e almas de perfis I e H submetidas a forças transversais localizadas

Quando um carregamento é aplicado em uma pequena área, esse pode ser considerado na idealização estrutural como carga concentrada. Essas cargas por terem uma área de aplicação muito pequena, necessitam de uma verificação adicional do perfil na região da sua aplicação, pois a resistência necessária nessa região é função do valor desse carregamento concentrado e não do diagrama de esforços cortantes.

O valor da carga concentrada é determinado pela multiplicação da área de aplicação pelo respectivo valor da pressão causada. Por exemplo, sobre uma viga apoia-se um pilar e esse pilar possui área de base de $A_{força}$. Essa área é determinada pelo comprimento da base de apoio do pilar na direção longitudinal a viga, $l_{força}$, e pela largura da base de apoio perpendicular a viga, $b_{força}$. O valor da carga concentrada de cálculo, $F_{local,d}$ é determinado em função das combinações do estado limite último para essa viga, sendo no caso do exemplo, a reação de apoio desse pilar na viga.

Nessa subseção são apresentadas as prescrições para a verificação de estados limites últimos causados por forças transversais localizadas, aplicadas na face externa de pelo menos uma das mesas, perpendicularmente à sua face, em seções I e H. As forças localizadas devem estar centradas em relação à alma.

Os estados limites localizados causados por forças transversais localizadas são:

- a) Flexão local da mesa;
- b) Escoamento local da alma;
- c) Enrugamento da alma;
- d) Flambagem lateral da alma;
- e) Flambagem da alma por compressão;

Flexão local da mesa

A mesa de uma barra, solicitada por uma força localizada que produza tração na alma, ou seja, carga concentrada aplicada na mesa inferior, deve ser verificada quanto ao estado limite último de flexão local.

Essa verificação não precisa ser feita se a largura de atuação da força $b_{força}$, for inferior a $0,15b_f$, onde b_f é a largura da mesa carregada.

A força resistente de cálculo da mesa da barra, dada por:

$$F_{Rd} = \begin{cases} \frac{6,25t_f^2 f_y}{\gamma_{a1}} & \text{para } l_{ap} \geq 10t_f \\ \frac{3,125t_f^2 f_y}{\gamma_{a1}} & \text{para } l_{ap} < 10t_f \end{cases} \quad (7.18)$$

nas quais:

t_f é a espessura da mesa com o carregamento concentrado aplicado;

l_{ap} é a distância do ponto de aplicação do carregamento concentrado em relação a extremidade da barra mais próxima.

Caso a condição de segurança não se verifique, podem ser dimensionados enrijecedores locais de alma, em ambos os lados, na região de atuação da força.

Se a barra for constituída por um perfil soldado, a solda entre a mesa e a alma deve ser capaz de transmitir a força localizada solicitante de cálculo de tração entre esses dois elementos.

Escoamento local da alma

A alma de uma barra, solicitada por tração ou compressão provocada por uma força localizada que atue na mesa, deve ser verificada para o estado limite último de escoamento local.

A força resistente de cálculo da alma da barra, dada por:

$$F_{Rd} = \begin{cases} \frac{1,10(5K + l_{força})f_y t_w}{\gamma_{a1}} & \text{para } l_{ap} > d \\ \frac{1,10(2,5K + l_{força})f_y t_w}{\gamma_{a1}} & \text{para } l_{ap} \leq d \end{cases} \quad (7.19)$$

sendo:

d é a altura total da seção transversal;

$l_{força}$ é o comprimento de atuação da força na direção longitudinal da viga;

K é a espessura da mesa carregada mais o lado do filete de solda paralelo à alma, no caso de perfis soldados, ou a espessura da mesa mais o raio de concordância com a alma, no caso de perfis laminados;

l_{ap} é a distância do ponto de aplicação do carregamento concentrado em relação a extremidade da barra mais próxima.

Da mesma forma que no estado limite anterior caso a condição de segurança não se verifique, podem ser dimensionados enrijecedores locais de alma, em ambos os lados, na região de atuação da força.

Se a barra for constituída por um perfil soldado e a força localizada for de tração, a solda entre a mesa e a alma deve ser capaz de transmitir a força localizada solicitante de cálculo entre esses dois elementos.

Enrugamento da alma

A alma de uma barra, solicitada por compressão provocada por uma força localizada que atue na mesa, deve ser verificada para o estado limite último de enrugamento.

A força resistente de cálculo da alma da barra, dada por:

$$F_{Rd} = \begin{cases} \frac{0,66t_w^2}{\gamma_{a1}} \left[1 + 3 \left(\frac{l_{força}}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}} & \text{para } l_{ap} \geq \frac{d}{2} \\ \frac{0,33t_w^2}{\gamma_{a1}} \left[1 + 3 \left(\frac{l_{força}}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}} & \text{para } l_{ap} < \frac{d}{2} \text{ e } \frac{l_{força}}{d} \leq 0,2 \\ \frac{0,33t_w^2}{\gamma_{a1}} \left[1 + \left(\frac{4l_{força}}{d} - 0,2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}} & \text{para } l_{ap} < \frac{d}{2} \text{ e } \frac{l_{força}}{d} > 0,2 \end{cases} \quad (7.20)$$

sendo:

d é a altura total da seção transversal;

t_f é a espessura da mesa carregada;

$l_{força}$ é o comprimento de atuação da força na direção longitudinal da viga;

l_{ap} é a distância do ponto de aplicação do carregamento concentrado em relação a extremidade da barra mais próxima.

Caso a condição de segurança não se verifique, podem ser dimensionados enrijecedores locais de alma, em um ou em ambos os lados, na região de atuação da força.

Flambagem lateral da alma

A alma de uma barra, solicitada por compressão provocada por uma força localizada que atue na mesa comprimida, deve ser verificada para o estado limite último de flambagem lateral, caso o deslocamento lateral relativo entre a mesa comprimida carregada e a mesa tracionada não esteja impedido no ponto de aplicação da força.

A força resistente de cálculo da alma da barra, dada por:

$$F_{Rd} = \begin{cases} \frac{C_r t_w^3 t_f}{\gamma_{a1} h^2} \left[0,94 + 0,37 \left(\frac{hb_f}{t_w L_b} \right)^3 \right] & \text{para rotação da mesa comprimida impedida e } \frac{hb_f}{t_w L_b} \leq 2,30 \\ \frac{C_r t_w^3 t_f}{\gamma_{a1} h^2} \left[0,37 \left(\frac{hb_f}{t_w L_b} \right)^3 \right] & \text{para rotação da mesa comprimida não impedida e } \frac{hb_f}{t_w L_b} \leq 1,70 \end{cases} \quad (7.21)$$

sendo:

L_b é o maior dentre os comprimentos sem contenção lateral envolvendo a seção de atuação da força concentrada, considerando as duas mesas;

h é a distância entre as faces internas das mesas menos os raios de concordância no caso de perfis laminados, ou a distância entre as faces internas das mesas no caso de perfis soldados;

C_r é um coeficiente que vale:

$$C_r = \begin{cases} 32E & \text{quando } M_{Sd} < M_r \\ 16E & \text{quando } M_{Sd} \geq M_r \end{cases}$$

sendo M_r o momento fletor correspondente ao início do escoamento da seção transversal.

Nos casos de valores de $\frac{hb_f}{t_w L_b}$ maiores que 2,3 e 1,7 para, respectivamente, rotação da mesa carregada impedida ou não impedida, o estado limite último de flambagem lateral da alma não tem possibilidade de ocorrer e, portanto, a verificação torna-se desnecessária.

Se a rotação da mesa carregada for impedida e a força solicitante de cálculo superar a força resistente de cálculo, uma contenção lateral na mesa tracionada da seção de atuação da força deve ser prevista. Opcionalmente, podem ser colocados nessa seção enrijecedores transversais de ambos os lados da alma.

Se a rotação da mesa carregada não for impedida e a força solicitante de cálculo superar a força resistente de cálculo, contenções laterais em ambas as mesas da seção de atuação da força devem ser previstas.

Flambagem da alma por compressão

A alma de uma barra, solicitada por compressão provocada por um par de forças localizadas de sentidos opostos, atuando em ambas as mesas da mesma seção transversal, deve ser verificada para o estado limite último de flambagem por compressão.

A força solicitante de cálculo (valor de cada força do par) não pode superar a força resistente de cálculo da alma da barra, dada por:

$$F_{Rd} = \begin{cases} \frac{24t_w^3\sqrt{Ef_y}}{\gamma_{a1}h} & \text{para } l_{ap} \geq \frac{d}{2} \\ \frac{12t_w^3\sqrt{Ef_y}}{\gamma_{a1}h} & \text{para } l_{ap} < \frac{d}{2} \end{cases} \quad (7.22)$$

Se a força solicitante de cálculo superar a força resistente de cálculo, deve ser colocado, na seção de atuação dessa força, um enrijecedor transversal de um dos lados da alma ou devem ser colocados enrijecedores transversais de ambos os lados da alma.

Apoios ou extremidades de vigas sem restrição à rotação e com alma livre

Devem ser usados enrijecedores transversais em apoios ou extremidades de vigas que não tenham qualquer tipo de restrição à rotação em relação ao eixo longitudinal e nos quais as almas não sejam ligadas a outras vigas ou pilares.

Tais enrijecedores devem ser soldados às mesas e à alma da seção transversal, estendendo-se por toda a altura da alma.

7.3.1 Enrijecedores locais de alma

Os enrijecedores transversais atender às seguintes exigências:

a) Quanto a largura, b_{enr} :

$$b_{enr} + \frac{t_w}{2} \geq \frac{t_f}{3} \quad (7.23)$$

na qual t_f é a largura da mesa ou da chapa de ligação que recebe a força localizada.

b) Quanto a espessura, t_{enr} :

$$t_{enr} \geq \max \begin{cases} \frac{t_f}{2} \\ \frac{b_f}{15} \end{cases} \quad (7.24)$$

nas quais t_f é a espessura e b_f a largura da mesa da barra ou da chapa de ligação que recebe a força localizada.

Quando os enrijecedores transversais forem utilizados também com o objetivo de aumentar o valor da força cortante resistente de cálculo da viga, devem ser atendidos adicionalmente os requisitos definidos em 7.2.1, exceto item b) para enrijecedores comprimidos, que devem se estender de mesa à mesa.

Forças localizadas que produzam tração na alma

Enrijecedores transversais necessários para resistir a forças localizadas que produzem tração na alma devem dimensionados como barras tracionadas, tomando como área bruta a área deles, definida como $A_{enr} = t_{enr}b_{enr}$ e como área líquida efetiva a área da seção ligada à mesa, descontando-se os recortes que porventura existam. Esses recortes podem existir nos cantos dos enrijecedores entre alma e mesa da viga e são feitos para contornar raios de concordância em perfis laminados ou soldados em perfis soldados.

Esses enrijecedores devem ser soldados à mesa carregada e à alma, e se estender pelo menos até a metade da altura da alma.

A solda entre o enrijecedor e a mesa carregada deve ser capaz de suportar a diferença entre a força solicitante e a força resistente de cálculo.

A solda entre o enrijecedor e a alma deve ser capaz de transferir para a alma essa diferença.

Forças localizadas que produzam compressão na alma

Escoamento local da alma e enrugamento da alma

Enrijecedores transversais necessários para resistir a forças localizadas que produzem compressão na alma, para os estados limites últimos de escoamento local da alma e enrugamento da alma, devem se estender pelo menos até a metade da altura da alma, ter suas extremidades ajustadas para estar em perfeito contato com a mesa carregada ou ser soldados a esta mesa, e ser obrigatoriamente soldados à alma. Caso sejam soldados, não há a necessidade de dimensioná-los, basta seguir as exigências definidas no inicio para a determinação de suas dimensões.

A solda entre o enrijecedor e a mesa carregada, caso exista, deve ser capaz de suportar a diferença entre a força solicitante e a força resistente de cálculo.

A solda entre o enrijecedor e a alma deve ser capaz de transferir para a alma essa diferença.

No caso de enrijecedores com extremidades ajustadas junto à mesa carregada, sem o uso de soldas, deve ser verificado o estado limite de esmagamento local, definida pela equação:

$$F_{Rd} = \frac{1,8Af_y}{\gamma_{a1}} \geq F_{local,d} \quad (7.25)$$

utilizando-se uma área de contato A igual à área da seção dos enrijecedores ligada à mesa, descontando-se os recortes que porventura existam.

Estados limites últimos de flambagem lateral da alma e flambagem da alma por compressão

Enrijecedores transversais necessários para resistir a forças localizadas que produzem compressão na alma, para os estados limites últimos de flambagem lateral da alma e flambagem da alma por compressão, devem ser dimensionados como barras comprimidas para o estado limite último de instabilidade por flexão em relação a um eixo no plano médio da alma.

A seção transversal a ser considerada é formada pelos enrijecedores mais uma faixa de alma de largura igual a $12t_w$, se os enrijecedores forem de extremidade, e igual a $25t_w$, se estiverem em uma seção interna. Ambas as considerações formam uma seção em formato de cruz com os enrijecedores e a alma, conforme figura 7.1. O comprimento de flambagem deve ser tomado igual a $0,75h$.

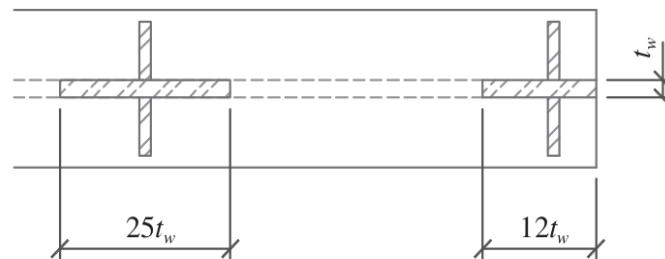


Figura 7.1: Seção transversal para o dimensionamento dos enrijecedores

Esses enrijecedores devem se estender por toda a altura da alma, ter suas extremidades ajustadas para estar em perfeito contato com a(s) mesa(s) carregada(s) ou ser soldados a esta(s) mesa(s) e ser soldados à alma e à mesa oposta.

A solda entre o enrijecedor e a(s) mesa(s) carregada(s), caso exista, deve ser capaz de suportar a diferença entre a força solicitante e a força resistente de cálculo, para o estado limite em consideração.

A solda entre o enrijecedor e a alma deve ser capaz de transferir para a alma essa diferença.

No caso de enrijecedores com extremidades ajustadas junto à mesa carregada, sem o uso de soldas, deve ser verificado o estado limite de esmagamento local, definida pela equação:

$$F_{Rd} = \frac{1,8Af_y}{\gamma_{a1}} \geq F_{local,d} \quad (7.26)$$

utilizando-se uma área de contato A igual à área da seção dos enrijecedores ligada à mesa, descontando-se os recortes que porventura existam.

7.4 Caso especial de cisalhamento: Seções tubulares circulares e retangulares submetidas exclusivamente à torção

O esforço de torção ou momento torsor é resultado direto de tensões de cisalhamento causadas pela rotação da seção transversal da barra em torno do seu eixo longitudinal.

A condição de segurança é definida por:

$$T_{Sd} \leq T_{Rd} \quad (7.27)$$

Seções tubulares circulares

Nas seções tubulares circulares de diâmetro D e espessura t , o momento de torção resistente de cálculo, T_{Rd} é igual ao maior dos valores a seguir:

$$T_{Rd} = \max \begin{cases} \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{1,23W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{5}{4}} \sqrt{\frac{L}{D}}} & \leq \frac{0,60W_T f_y}{\gamma_{a1}} \\ \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{0,60W_T E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{3}{2}}} \end{cases} \quad (7.28)$$

nas quais:

L é o comprimento da barra;

W_t é o módulo de resistência à torção, que para essas seções vale:

$$W_T = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2}$$

Seções tubulares retangulares

Nas seções tubulares retangulares de lados H e B e espessura t , o momento de torção resistente de cálculo é dado por:

$$T_{Rd} = \begin{cases} \frac{0,60W_T f_y}{\gamma_{a1}} & \text{para } \frac{h}{t} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{0,6W_T f_y \left(2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}\right)}{\frac{h}{t}} & \text{para } 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{h}{t} \leq 3,07 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{0,46\pi^2 W_T E}{\left(\frac{h}{t}\right)^2} & \text{para } 3,07 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{h}{t} \leq 260 \end{cases} \quad (7.29)$$

nas quais:

h é o maior comprimento entre as partes planas dos lados da seção transversal;

W_t é o módulo de resistência à torção, que para essas seções vale:

$$W_T = 2t(B-t)(H-t) - 4,5t^3(4-\pi)$$