

Peças Tracionadas

2.1 TIPOS CONSTRUTIVOS

Denominam-se peças tracionadas as peças sujeitas a solicitações de tração axial, ou tração simples.

As peças tracionadas são empregadas nas estruturas, sob diversas formas, conforme ilustrado na Fig. 2.1:

- tirantes ou pendurais;
- contraventamentos de torres (estais);
- travejamentos de vigas ou colunas, geralmente com dois tirantes em forma de X;
- tirantes de vigas armadas;
- barras tracionadas de treliças.

As peças tracionadas podem ser constituídas por barras de seção simples ou composta, como, por exemplo (ver Fig. 2.2):

- barras redondas;
- barras chatas;

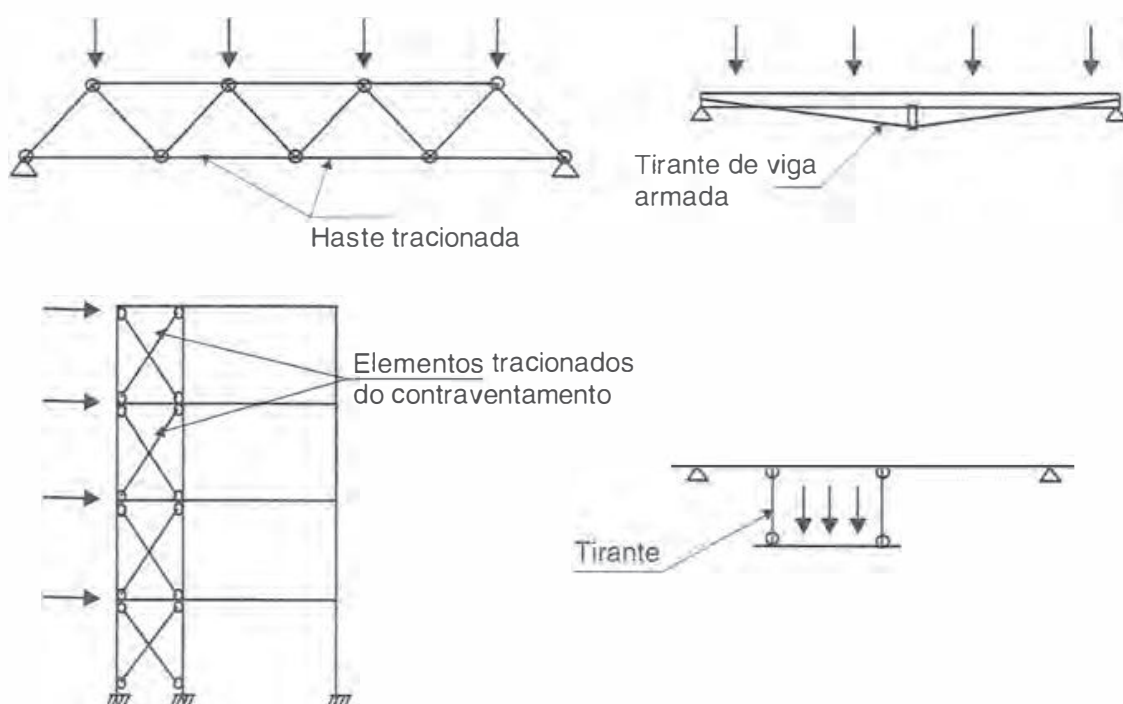


Fig. 2.1 Elementos tracionados em estruturas.

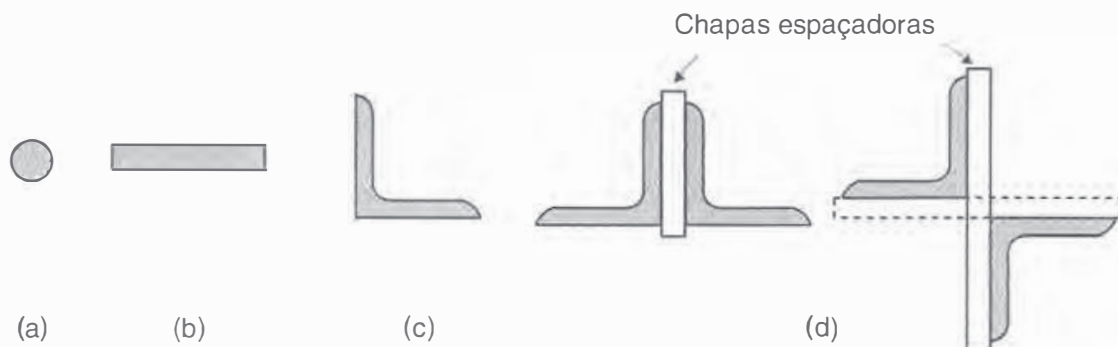


Fig. 2.2 Tipos de perfis utilizados em peças tracionadas: (a) barra redonda; (b) barra chata; (c) perfil laminado simples (cantoneira); (d) seções compostas de dois perfis laminados (dupla cantoneira com faces opostas ou cantoneiras opostas pelo vértice).

- perfis laminados simples (L, U, I);
- perfis laminados compostos.

As ligações das extremidades das peças tracionadas com outras partes da estrutura podem ser feitas por diversos meios, a saber:

- soldagem;
- conectores aplicados em furos;
- rosca e porca (caso de barras rosqueadas).

A Fig. 2.3 mostra o desenho de um nó de treliça, cujas barras são formadas por associação de duas cantoneiras. As barras são ligadas a uma chapa de nó, denominada *gusset* (palavra da língua francesa, também utilizada em inglês), cuja espessura t é igual ao espaçamento entre as cantoneiras. As ligações das barras com a chapa gusset são feitas por meio de furos e conectores.

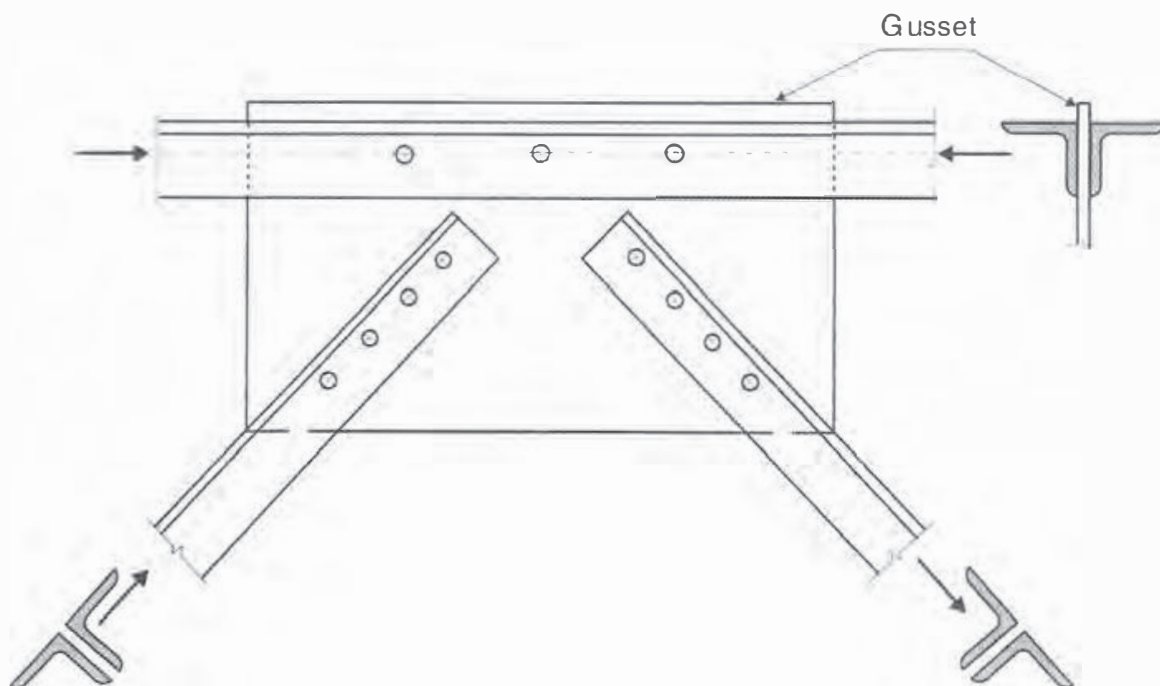


Fig. 2.3 Nó de uma treliça metálica, com barras formadas por cantoneiras duplas ligadas a uma chapa gusset. O banzo superior e a diagonal à esquerda estão comprimidos enquanto a diagonal à direita está tracionada.

2.2 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

2.2.1 Distribuição de Tensões Normais na Seção

Nas peças tracionadas com furos, as tensões em regime elástico não são uniformes, verificando-se tensões mais elevadas nas proximidades dos furos, como se vê na Fig. 2.4a. No estado limite, graças à ductilidade do aço, as tensões atuam de maneira uniforme em toda a seção da peça (Fig. 2.4b). Às tensões σ_N , devidas ao esforço normal de tração N , somam-se as tensões residuais σ_r (Seção 1.8), oriundas do processo de fabricação, e cuja resultante é nula em cada seção como mostra a Fig. 2.4c, para uma chapa laminada. Com o acréscimo da força de tração ocorre a plastificação progressiva da seção, como ilustrado na Fig. 2.4d. A força de tração N_y que provoca a plastificação total da seção não se altera com a presença das tensões residuais. Da mesma forma, a carga N_u , para a qual a peça com furo atinge o estado limite, independe das tensões residuais.

2.2.2 Estados Limites Últimos e Esforços Normais Resistentes

A resistência de uma peça sujeita à tração axial pode ser determinada por:

- Ruptura da seção com furos;
- Escoamento generalizado da barra ao longo de seu comprimento, provocando deformações exageradas.

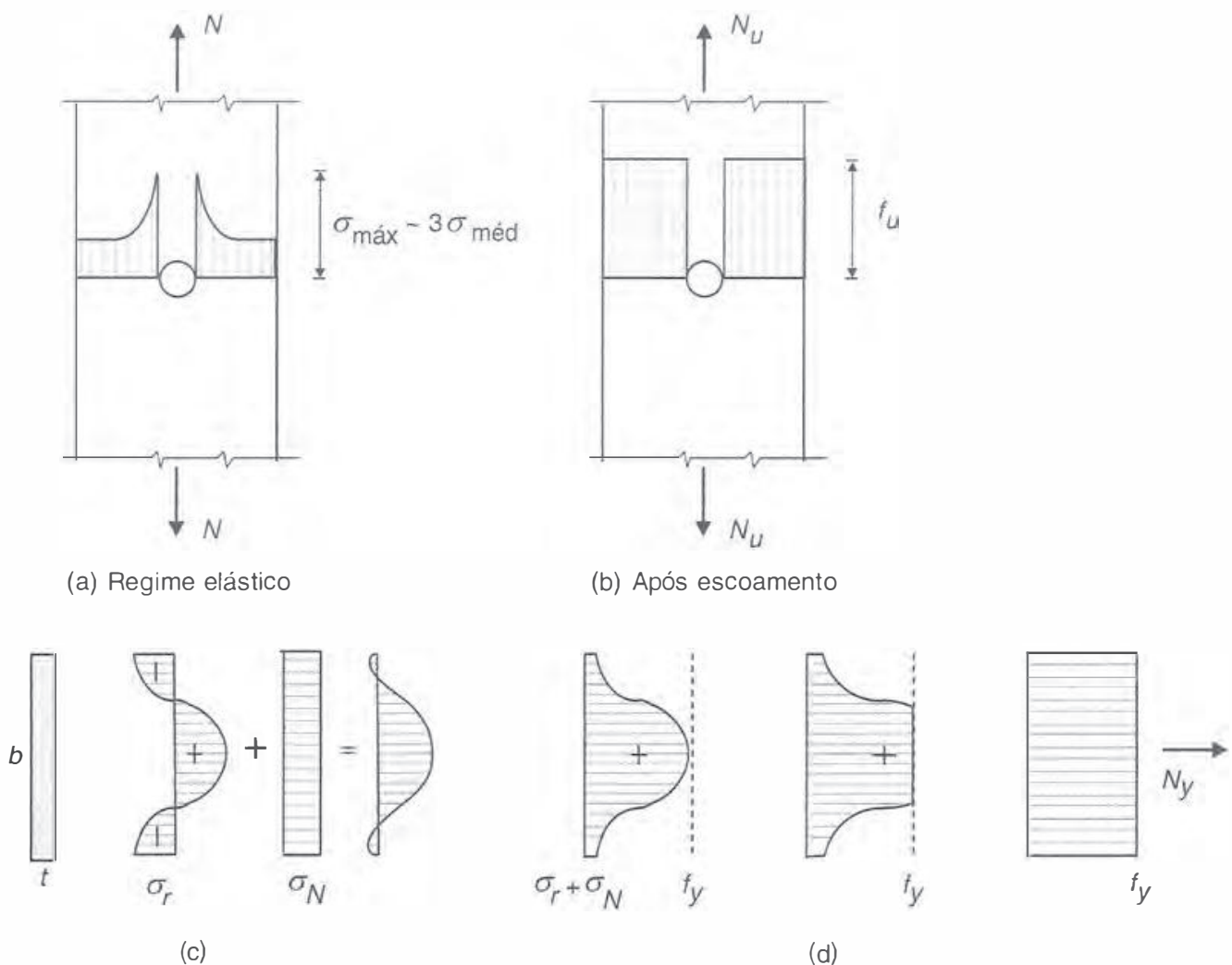


Fig. 2.4 Tensões normais σ_N de tração axial. (a) e (b) em uma peça tracionada com furo; (c) e (d) σ_N adicionadas às tensões residuais σ_r .

O escoamento da seção com furos conduz a um pequeno alongamento da peça e não constitui um estado limite.

Nas peças com perfis de pequena espessura com ligações por grupo de conectores pode ocorrer um tipo de colapso denominado cisalhamento de bloco (ver Item 2.2.7).

Peças em Geral, com Furos

Nas peças com furos, dos tipos indicados na Fig. 2.3, a resistência de projeto é dada pelo menor dos seguintes valores:

- a) Ruptura da seção com furos, de área A_n (área líquida)

$$R_d = \frac{A_{n,ef} \cdot f_u}{\gamma_{a2}} \quad (2.1a)$$

com $\gamma_{a2} = 1,35$ para esforço normal solicitante decorrente de combinação normal de ações (ver Tabela 1.7);

f_u = tensão resistente à tração do aço (ver Fig. 1.12);

$A_{n,ef}$ = área líquida efetiva (Item 2.2.6).

- b) Escoamento da seção bruta, de área A_g

$$R_d = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (2.1b)$$

onde $\gamma_{a1} = 1,10$ para esforço normal solicitante decorrente de combinação normal de ações (ver Tabela 1.7);

f_y = tensão de escoamento à tração do aço (ver Fig. 1.13).

Peças com Extremidades Rosqueadas

As barras com extremidades rosqueadas, consideradas neste item, são barras com diâmetro igual ou superior a 12 mm (1/2"), nas quais o diâmetro externo da rosca é igual ao diâmetro nominal da barra. O dimensionamento dessas barras é determinado pela ruptura da seção da rosca.

Considerando-se que, com os tipos de rosca usados na indústria, a relação entre a área efetiva à tração na rosca (A_{ef}) e a área bruta da barra (A_g) varia dentro de uma faixa limitada (0,73 a 0,80), é possível calcular a resistência das barras tracionadas em função da área bruta A_g , com um coeficiente médio 0,75. Nessas condições, a resistência de projeto de barras rosqueadas pode ser obtida com a expressão:

$$R_d = \frac{0,75 A_g f_u}{\gamma_{a2}} \leq \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (2.2)$$

com γ_{a1} e γ_{a2} dados na Tabela 1.7.

Chapas Ligadas por Pinos

No caso de chapas ligadas por pinos, a resistência é determinada pela ruptura da seção líquida efetiva. O assunto será tratado na Seção 9.3.

2.2.3 Limitações de Esbeltez das Peças Tracionadas

Denomina-se índice de esbeltez de uma haste a relação entre seu comprimento l entre pontos de apoio lateral e o raio de giração mínimo i_{\min} da seção transversal [ver Eq. (5.3)]. Nas peças

Tabela 2.1 Valor de Esbeltez Limite em Peças Tracionadas

	AISC, NB
Peças tracionadas, exceto tirantes de barras redondas pré-tracionadas	300

tracionadas, o índice de esbeltez não tem importância fundamental, uma vez que o esforço de tração tende a retificar a haste, reduzindo excentricidades construtivas iniciais. Apesar disso, as normas fixam limites superiores do índice de esbeltez de peças tracionadas (ver Tabela 2.1), com a finalidade de reduzir efeitos vibratórios provocados por impactos, ventos etc.

Em peças tracionadas compostas por perfis justapostos com afastamento igual à espessura das chapas espaçadoras (Fig. 2.2d), o comprimento l entre pontos de apoio lateral pode ser tomado igual a distância entre duas chapas espaçadoras. Dessa forma, a esbeltez máxima de cada perfil isolado fica limitada ao valor prescrito na Tabela 2.1.

2.2.4 Diâmetros dos Furos de Conectores

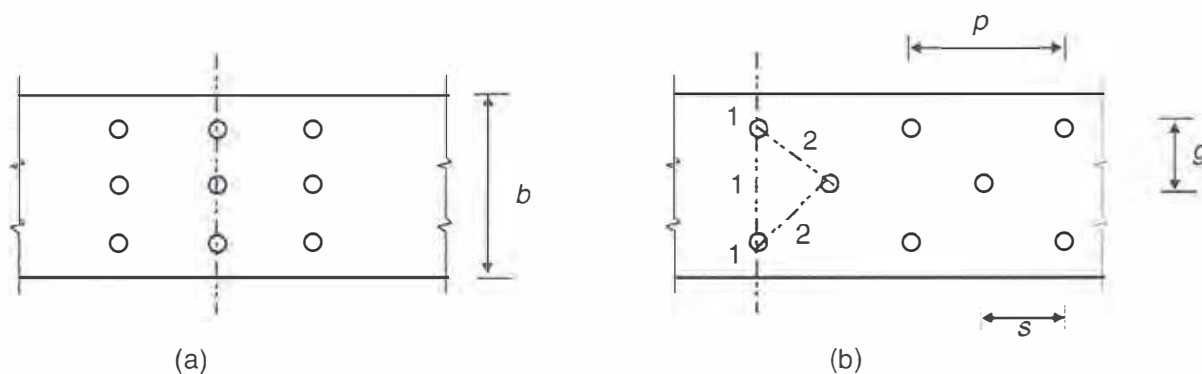
Quando as seções recebem furos para permitir ligações com conectores (rebites ou parafusos), a seção da peça é enfraquecida pelos furos. Os tipos de furos adotados em construções metálicas são realizados por puncionamento ou por broqueamento.

O processo mais econômico e usual consiste em puncionar um furo com diâmetro 1,5 mm superior ao diâmetro do conector. Essa operação danifica o material junto ao furo, o que se compensa, no cálculo, com uma redução de 1 mm ao longo do perímetro do furo.

No caso de furos-padrão (Fig. 3.5a), o diâmetro total a reduzir é igual ao diâmetro nominal do conector (d) acrescido de 3,5 mm, sendo 2 mm correspondentes ao dano por puncionamento e 1,5 mm à folga do furo em relação ao diâmetro do conector. Para mais detalhes, ver Item 3.2.1.

2.2.5 Área da Seção Transversal Líquida de Peças Tracionadas com Furos

Numa barra com furos (Fig. 2.5a), a área líquida (A_n) é obtida subtraindo-se da área bruta (A_g) as áreas dos furos contidos em uma seção reta da peça.



p = espaçamento entre furos da mesma fila (*pitch*)
 g = espaçamento transversal entre duas filas de furos (*gage*)
 s = espaçamento longitudinal entre furos de filas diferentes (também denominado *pitch*)

Fig. 2.5 Seção líquida de peças com furos: (a) furação reta; (b) furação em zigue-zague.

No caso de furação enviesada (Fig. 2.5b), é necessário pesquisar diversos percursos (1-1-1, 1-2-2-1) para encontrar o menor valor de seção líquida, uma vez que a peça pode romper segundo qualquer um desses percursos. Os segmentos enviesados são calculados com um comprimento reduzido, dado pela expressão empírica

$$g + \frac{s^2}{4g} \quad (2.3)$$

onde s e g são respectivamente os espaçamentos horizontal e vertical entre dois furos.

A área líquida A_n de barras com furos pode ser representada pela equação

$$A_n = \left[b - \sum (d + 3.5 \text{ mm}) + \sum \frac{s^2}{4g} \right] t \quad (2.4)$$

adotando-se o menor valor obtido nos diversos percursos pesquisados.

2.2.6 Área da Seção Transversal Líquida Efetiva

Quando a ligação é feita por todos os segmentos de um perfil, a seção participa integralmente da transferência dos esforços. Isto não acontece, por exemplo, nas ligações das cantoneiras com a chapa de nó da Fig. 2.3, nas quais a transferência dos esforços se dá através de uma aba de cada cantoneira. Nesses casos as tensões se concentram no segmento ligado e não mais se distribuem em toda a seção. Este efeito é levado em consideração utilizando, no cálculo da resistência à ruptura [Eq. (2.1a)], a área líquida efetiva dada por:

$$A_{n,ef} = C_t A_n \quad (2.5)$$

onde C_t é um fator redutor aplicado à área líquida A_n , no caso de ligações parafusadas, e à área bruta A_g no caso de ligações soldadas (peças sem furação). Quanto maior o comprimento da ligação, menor é a redução aplicada às áreas.

Nos perfis de seção aberta (Fig. 2.6) tem-se para C_t (NBR 8800):

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l} \geq 0.60 \quad (2.6)$$

onde e_c é a excentricidade do plano da ligação (ou da face do segmento ligado) em relação ao centro geométrico da seção toda ou da parte da seção que resiste ao esforço transferido; l é o

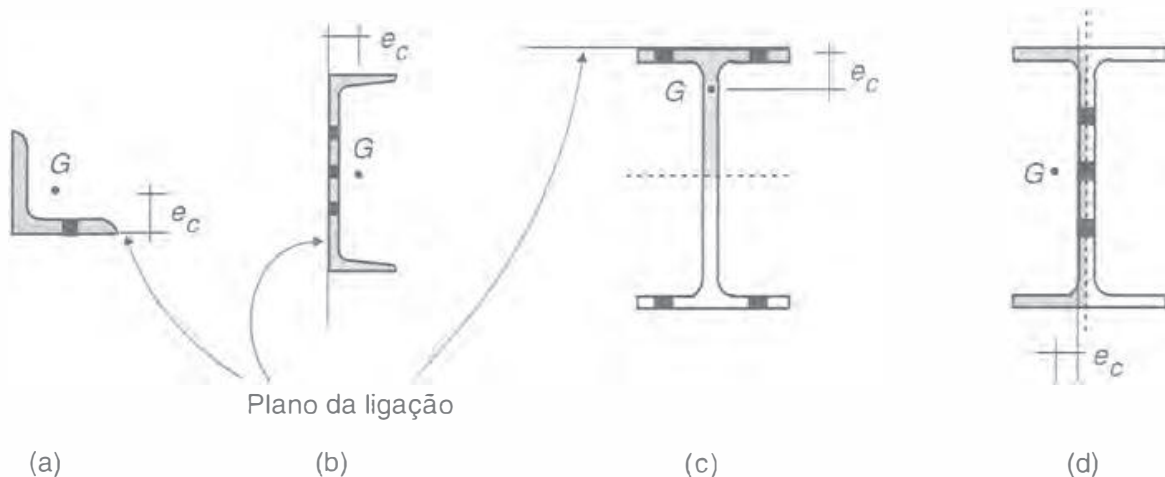


Fig. 2.6 Coeficiente para cálculo da área líquida efetiva em seções com furos.

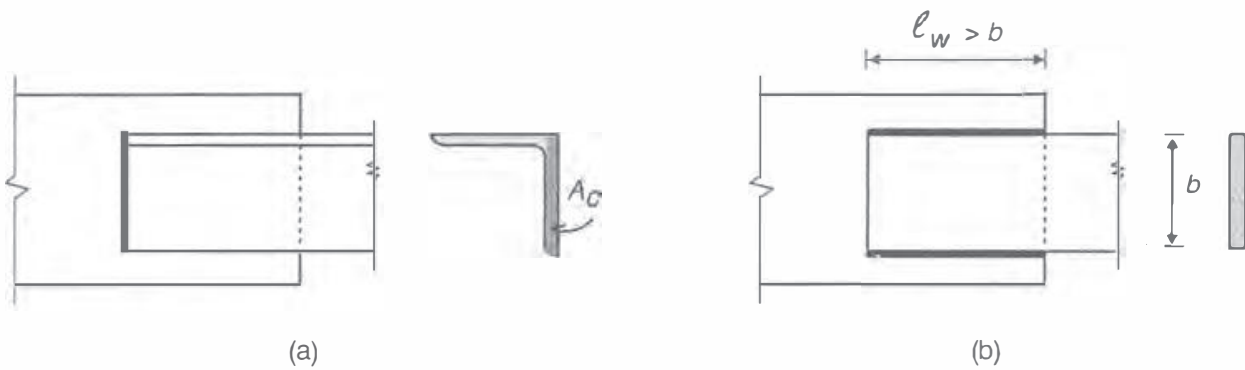


Fig. 2.7 Coeficiente para cálculo da área líquida efetiva em seções com ligação soldada.

comprimento da ligação, igual ao comprimento do cordão de solda em ligações soldadas, e em ligações parafusadas é igual à distância entre o primeiro e o último parafusos na direção da força.

Nas ligações em que só há um plano de ligação (Figs. 2.6a, b), a excentricidade e_c é a distância entre este plano e o centro de gravidade da seção. Em perfis com um eixo de simetria, as ligações devem ser simétricas em relação a esse eixo (Figs. 2.6c, d). Nas ligações pelos flanges (ou mesas) de perfis I ou H (Fig. 2.6c), considera-se a seção dividida em duas seções T, cada uma resistindo ao esforço transferido pelo respectivo plano de ligação. Já na ligação pela alma, a seção é dividida em duas seções U. Essas considerações se aplicam tanto a ligações parafusadas quanto soldadas. No caso de ligações parafusadas devem-se prever no mínimo dois parafusos por linha de furação na direção da força.

Para peças tracionadas ligadas apenas por soldas transversais (Fig. 2.7a) tem-se:

$$C_t = \frac{A_c}{A_g} \quad (2.7)$$

onde A_c é a área do segmento ligado.

No caso de chapas planas ligadas apenas por soldas longitudinais, o coeficiente C_t depende da relação entre o comprimento l_w das soldas e a largura b da chapa (ver Fig. 2.7b):

$$C_t = 1,00 \quad \text{para } l_w \geq 2b \quad (2.8a)$$

$$C_t = 0,87 \quad \text{para } 1,5b \leq l_w < 2b \quad (2.8b)$$

$$C_t = 0,75 \quad \text{para } b \leq l_w < 1,5b \quad (2.8c)$$

2.2.7 Cisalhamento de Bloco

No caso de perfis de chapas finas tracionados e ligados por conectores, além da ruptura da seção líquida o colapso por rasgamento ao longo de uma linha de conectores pode ser determinante no dimensionamento. Nesse tipo de colapso, denominado *cisalhamento de bloco*, conforme ilustrado na Fig. 2.8, ocorre ruptura do segmento do perfil que recebe a ligação, envolvendo cisalhamento nos planos paralelos à força (áreas A_v) e tração no plano normal à força (área A_t).

A ruptura da área tracionada pode estar acompanhada da ruptura ou do escoamento das áreas cisalhadas, o que fornece a menor resistência. Dessa forma, a resistência é calculada com a seguinte expressão (AISC/2005; NBR 8800):

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,60 f_u A_{nv} + C_{ts} f_u A_{nt}) \leq \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,60 f_y A_{gv} + C_{ty} f_u A_{nt}) \quad (2.9)$$

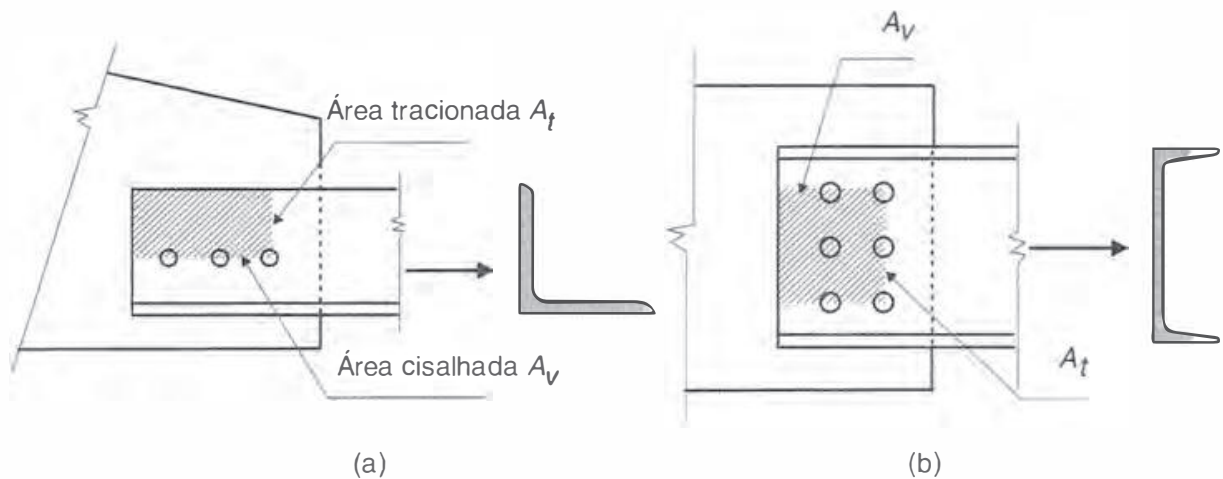


Fig. 2.8 Colapso por cisalhamento de bloco.

onde $0,60f_u$ e $0,60f_y$ são respectivamente as tensões de ruptura e escoamento a cisalhamento do aço;

A_{nv} e A_{gv} são respectivamente as áreas líquida e bruta cisalhadas;

A_{nt} é a área líquida tracionada;

$C_{ts} = 1,0$ quando a tensão de tração na área A_{nt} é uniforme, caso das Figs. 2.8, 3.11 e 9.9;

$C_{ts} = 0,5$ para tensão não uniforme.

Observa-se na Eq. (2.9) que a resistência R_d é obtida com a soma das resistências à ruptura das áreas cisalhadas A_{nv} e da área tracionada A_{nt} , sendo que a resistência da área cisalhada deve ser limitada pelo escoamento a cisalhamento.

2.3 | PROBLEMAS RESOLVIDOS

2.3.1 Calcular a espessura necessária de uma chapa de 100 mm de largura, sujeita a um esforço axial de 100 kN (10 tf). Resolver o problema para o aço MR250 utilizando o método das tensões admissíveis (Item 1.10.3) com $\bar{\sigma}_t = 0,6f_y$.



Fig. Probl. 2.3.1

Solução

Para o aço MR250, temos a tensão admissível (referida à área bruta):

$$\bar{\sigma}_t = 0,6 \times 250 = 150 \text{ MPa} = 15 \text{ kN/cm}^2$$

Área bruta necessária:

$$A_g = \frac{N}{\bar{\sigma}_t} = \frac{100}{15} = 6,67 \text{ cm}^2$$

Espessura necessária:

$$t = \frac{6,67}{10} = 0,67 \text{ cm (adotar } 7,94 \text{ mm} = 5/16\text{'')}$$

2.3.2 Repetir o Problema 2.3.1, fazendo o dimensionamento com o método dos estados limites, e comparar os dois resultados.

Solução

Admitindo-se que o esforço de tração seja provocado por uma carga variável de utilização, a solicitação de cálculo vale

$$N_d = \gamma_q N = 1,5 \times 100 = 150 \text{ kN}$$

A área bruta necessária é obtida com a Eq. 2.1b:

$$A_g = \frac{N_d}{f_y / \gamma_{af}} = \frac{150}{25 / 1,10} = 6,60 \text{ cm}^2$$

Espessura necessária:

$$t = \frac{6,60}{10} = 0,66 \text{ cm (adotar } 7,94 \text{ mm} = 5 / 16\text{'')}$$

Verifica-se que, no caso de tração centrada devida a uma carga variável, o método dos Estados Limites e o de Tensões Admissíveis fornecem o mesmo dimensionamento.

2.3.3 Duas chapas 22×300 mm são emendadas por meio de talas com 2×8 parafusos $\phi 22$ mm ($7/8$ "'). Verificar se as dimensões das chapas são satisfatórias, admitindo-se aço MR250 (ASTMA36).

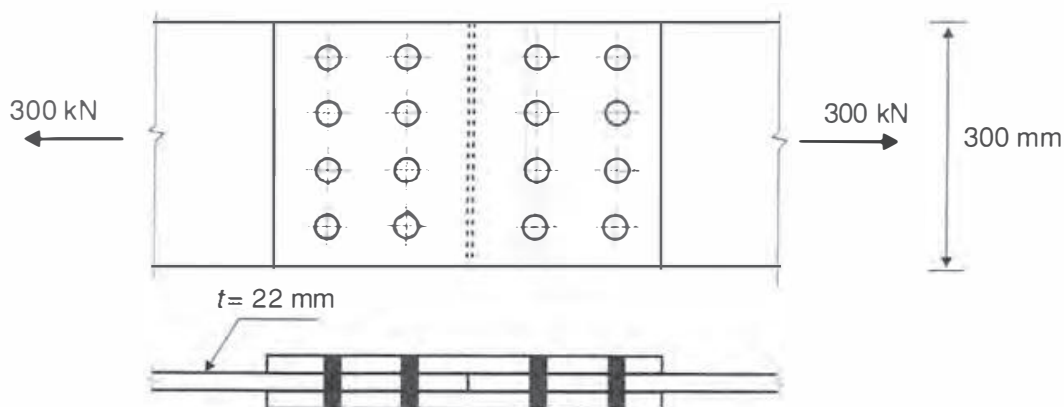


Fig. Probl. 2.3.3

Solução

Área bruta:

$$A_g = 30 \times 2,22 = 66,6 \text{ cm}^2$$

A área líquida na seção furada é obtida deduzindo-se quatro furos com diâmetro $22 + 3,5 = 25,5$ mm.

$$A_n = (30 - 4 \times 2,55) \times 2,22 = 44,04 \text{ cm}^2$$

Admitindo-se que a solicitação seja produzida por uma carga variável de utilização, o esforço solicitante de cálculo vale:

$$N_d = \gamma_q N = 1,5 \times 300 = 450 \text{ kN}$$

Os esforços resistentes são obtidos com as Eqs. 2.1a e 2.1b.

Área bruta:

$$N_{dres} = 66,6 \times 25 / 1,10 = 1513 \text{ kN}$$

Área líquida:

$$N_{dres} = 44,0 \times 40 / 1,35 = 1304 \text{ kN}$$

Os esforços resistentes são superiores aos esforços solicitantes, concluindo-se que as dimensões satisfazem com folga.

2.3.4 Duas chapas $28 \text{ cm} \times 20 \text{ mm}$ são emendadas por traspasse, com parafusos $d = 20 \text{ mm}$, sendo os furos realizados por punção. Calcular o esforço resistente de projeto das chapas, admitindo-as submetidas à tração axial. Aço MR250.

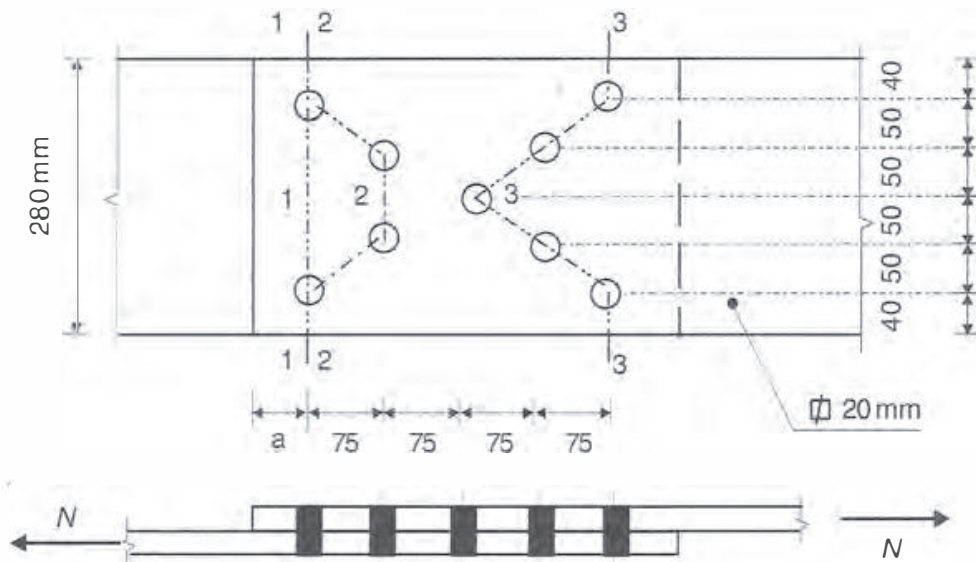


Fig. Probl. 2.3.4

Solução

A ligação por traspasse introduz excentricidade no esforço de tração. No exemplo, esse efeito será desprezado, admitindo-se as chapas sujeitas à tração axial.

O diâmetro dos furos, a considerar no cálculo da seção líquida, é

$$20 + 3,5 = 23,5 \text{ mm}$$

O esforço resistente de projeto poderá ser determinado pela seção bruta ou pela seção líquida da chapa, e a menor seção líquida deverá ser pesquisada nos percursos 1-1-1, 2-2-2 e 3-3-3.

Seção bruta:

$$A_g = 28 \times 2 = 56 \text{ cm}^2$$

Seção líquida:

$$1-1-1 \quad A_n = (28 - 2 \times 2,35)2 = 46,6 \text{ cm}^2$$

$$2-2-2 \quad A_n = \left(28 + 2 \times \frac{7,5^2}{4 \times 5} - 4 \times 2,35 \right) \times 2 = 48,45 \text{ cm}^2$$

$$3-3-3 \quad A_n = \left(28 + 4 \times \frac{7,5^2}{4 \times 5} - 5 \times 2,35 \right) \times 2 = 55,0 \text{ cm}^2$$

Observa-se que a menor seção líquida corresponde à seção reta 1-1-1. Os esforços resistentes de projeto são obtidos com as Eqs. 2.1a e 2.1b.

Área bruta:

$$N_{dres} = 56 \times 25/1,10 = 1273 \text{ kN (127 tf)}$$

Área líquida:

$$N_{dres} = 46,6 \times 40/1,35 = 1381 \text{ kN (138 tf)}$$

O esforço resistente de projeto é determinado pela seção bruta, valendo 1273 kN.

2.3.5 Calcular o diâmetro do tirante capaz de suportar uma carga axial de 150 kN, sabendo-se que a transmissão de carga será feita por um sistema de roscas e porcas. Aço ASTM A36 (MR250). Admite-se que a carga seja do tipo permanente, com grande variabilidade.

Solução

O dimensionamento de barras rosqueadas é feito com a Eq. 2.2. A área bruta necessária se obtém com a expressão:

$$A_g = \frac{\gamma_g N}{0,75 f_u / \gamma_{t2}} = \frac{1,4 \times 150}{0,75 \times 40 / 1,35} = 9,45 \text{ cm}^2 > \frac{\gamma_g N}{f_y / \gamma_{a1}} = \frac{1,4 \times 150}{25 / 1,10} = 9,24 \text{ cm}^2$$

O diâmetro de barra pode ser adotado igual a:

$$d = 3,49 \text{ cm (1 3/8")} \quad A_g = 9,58 \text{ cm}^2$$

2.3.6 Para a cantoneira L 178 × 102 × 12,7 (7" × 4" × 1/2") indicada na Fig. Probl. 2.3.6a e 2.3.6b, determinar:

- a área líquida, sendo os conectores de diâmetro igual a 22 mm (7/8");
- maior comprimento admissível, para esbeltez máxima igual a 300.

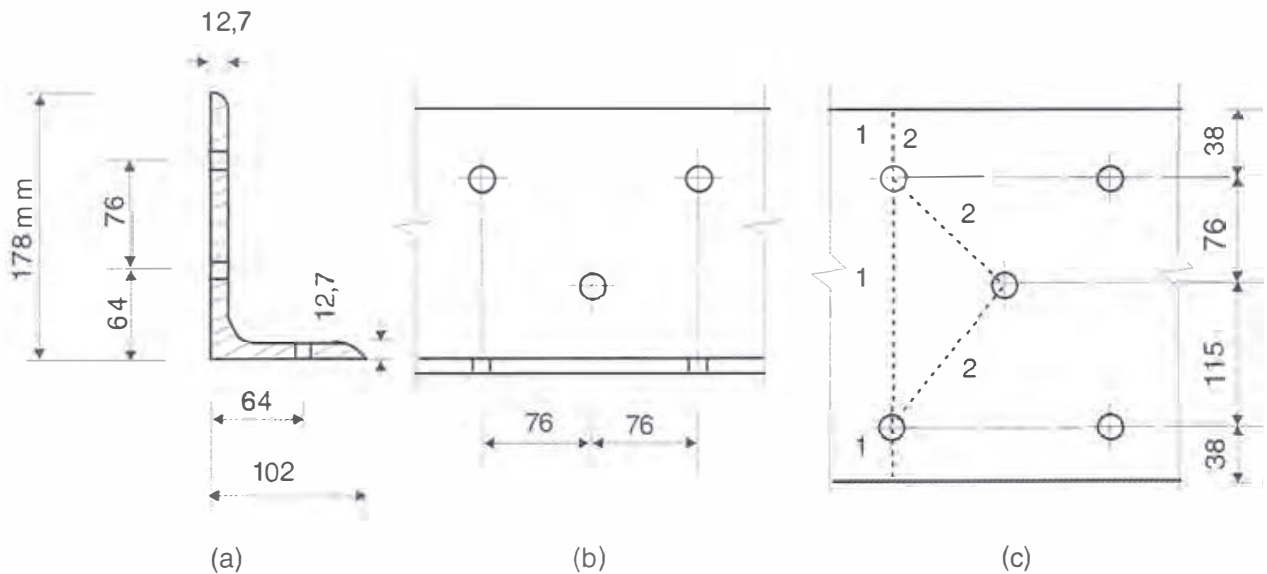


Fig. Probl. 2.3.6

Solução

O cálculo pode ser feito rebatendo-se a cantoneira segundo seu eixo (Fig. Probl. 2.3.6c). Comprimentos líquidos dos percursos, considerando-se furos com diâmetro $22,2 + 3,5 = 25,7$ mm (1"):

percurso 1-1-1 $178 + 102 - 12,7 - 2 \times 25,4 = 216,5$ mm

percurso 1-2-2-1 $178 + 102 - 12,7 + \frac{76^2}{4 \times 76} + \frac{76^2}{4 \times 115} - 3 \times 25,4 = 222,6$ mm

O caminho 1-1-1 é crítico. Seção líquida $A_n = 21,6 \times 1,27 = 27,4$ cm².

O maior comprimento desta cantoneira trabalhando como peça tracionada será

$$l_{\text{máx}} = 300 \times i_{\text{mín}} = 300 \times 2,21 = 663 \text{ cm}$$

2.3.7 Para o perfil U 381 (15") \times 50,4 kg/m, em aço MR250, indicado na Fig. Probl. 2.3.7, calcular o esforço de tração resistente. Os conectores são de 22 mm de diâmetro.

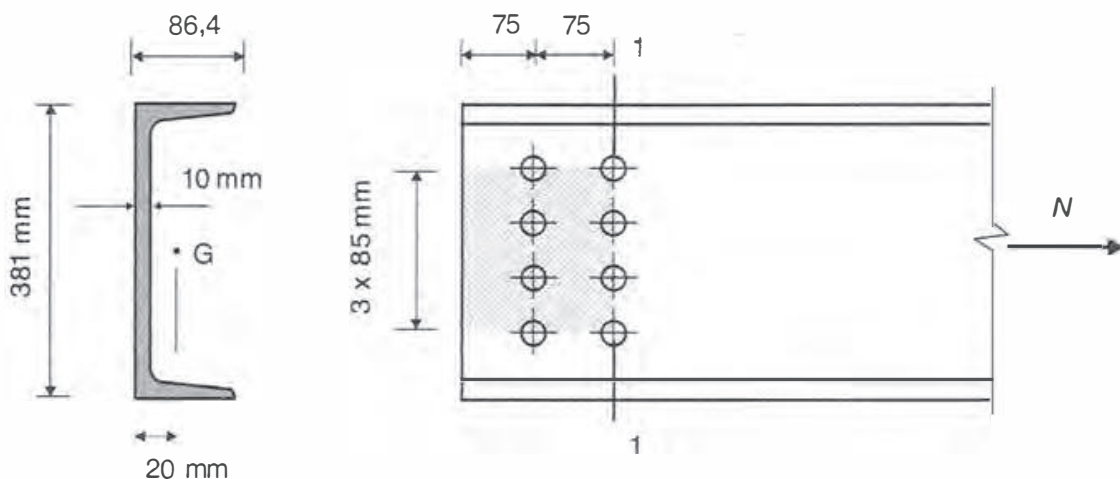


Fig. Probl. 2.3.7

Solução

a) Escoamento da seção bruta

$$N_{dres} = A_g \times f_y / 1,10 = 64,2 \times 25 / 1,10 = 1459 \text{ kN}$$

b) Ruptura da seção líquida

Diâmetro do furo a se considerar no cálculo = $22,0 + 3,5 = 25,5 \text{ mm}$

Área líquida (seção 1-1) = $64,2 - 4 \times 2,55 \times 1,02 = 53,8 \text{ cm}^2$

Área líquida efetiva, considerando-se fator de redução C_t [(Eq. 2.6)] do Item 2.2.6:

$$C_t = 1 - \frac{2,0}{7,5} = 0,73$$

$$A_n = 0,73 \times 53,8 = 39,4 \text{ cm}^2$$

$$N_{dres} = 39,4 \times 40 / 1,35 = 1169 \text{ kN}$$

c) Ruptura por cisalhamento de bloco no perímetro da área hachurada na figura (Item 2.2.7).

Área cisalhada $A_{gv} = 2 \times 1,02 \times 15 = 30,6 \text{ cm}^2$

$$A_{nv} = 2 \times 1,02 \times (15 - 1,5 \times 2,55) = 22,8 \text{ cm}^2$$

Área tracionada $A_{nt} = 1,02 \times (3 \times 8,5 - 3 \times 2,55) = 18,2 \text{ cm}^2$

Utiliza-se a Eq. (2.9):

$$R_d = (0,6 \times 40 \times 22,8 + 40 \times 18,2) / 1,35 = 944 \text{ kN} > (0,6 \times 25 \times 30,6 + 40 \times 18,2) / 1,35 = 879 \text{ kN}$$

d) Conclusão

O esforço resistente de tração do perfil é determinado pela ruptura por cisalhamento de bloco da área hachurada da Fig. Probl. 2.3.7.

$$N_{dres} = 879 \text{ kN}$$

2.3.8 Calcular o esforço resistente de tração do perfil do Probl. 2.3.7, agora com ligação soldada.

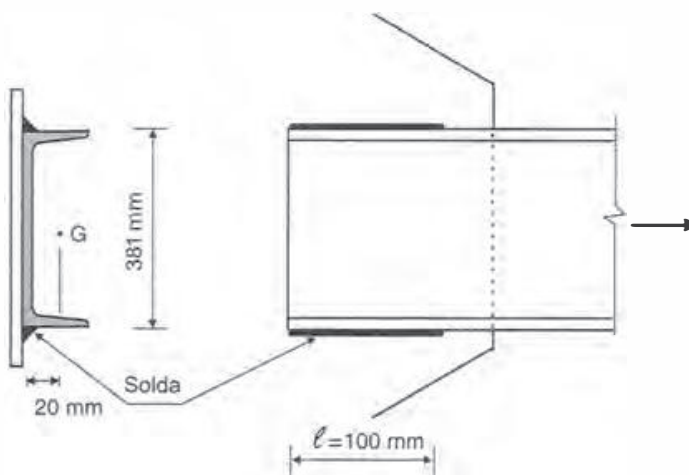


Fig. Probl. 2.3.8

Solução

O esforço resistente ao escoamento da seção bruta foi obtido no Problema 2.3.7 e é igual a 1444 kN.

Com o fator de redução do Item 2.2.6 obtém-se o esforço resistente para ruptura da seção efetiva na ligação:

$$C_t = 1 - 20/100 = 0,80$$

$$N_{dtes} = 0,80 \times 64,2 \times 40/1,35 = 1450 \text{ kN}$$

2.3.9 Ao perfil U 381 (15") \times 50,4 kg/m do Probl. 2.3.7 são acrescentados dois furos, como indicado na Fig. Probl. 2.3.9. Calcular o esforço de tração resistente. Os conectores são de 22 mm de diâmetro.

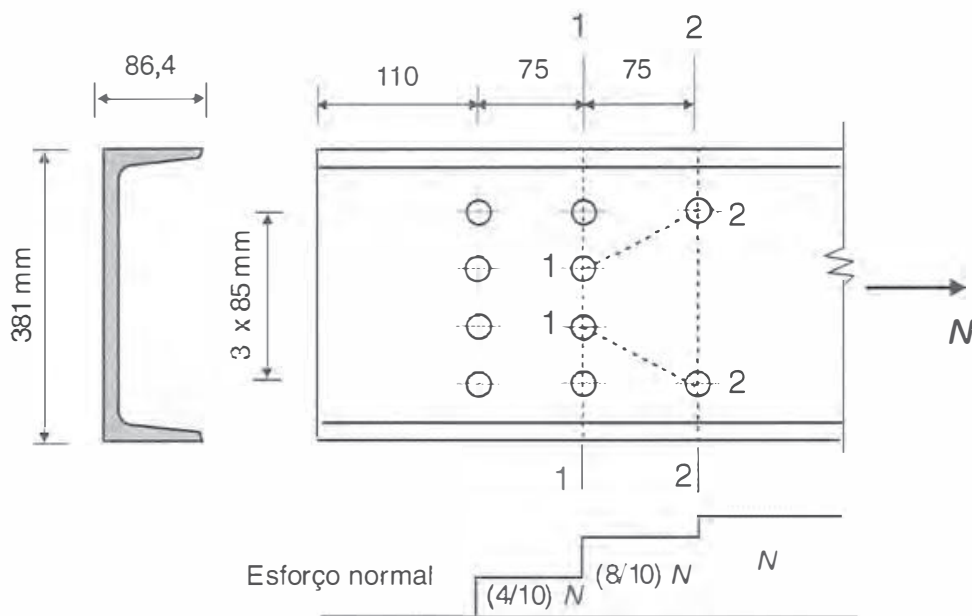


Fig. Probl. 2.3.9

Solução

a) Ruptura de seção líquida

O cálculo para ruptura da seção líquida será feito agora com as seções 1-1, 2-2 e 2-1-1-2.

Área líquida: Seção 1-1 $A_n = 64,2 - 4 \times 2,55 \times 1,02 = 53,8 \text{ cm}^2$

Seção 2-2 $A_n = 64,2 - 2 \times 2,55 \times 1,02 = 59,0 \text{ cm}^2$

Seção 2-1-1-2 $A_n = 64,2 - 4 \times 2,55 \times 1,02 + \frac{2 \times 7,5^2}{4 \times 8,5}$

$$\times 1,02 = 57,6 \text{ cm}^2$$

Admitindo solicitações uniformes nos conectores, o esforço normal na seção 1-1 será

$$N - \frac{2}{10} N = \frac{8}{10} N$$

e por isso o esforço resistente à ruptura da seção líquida 1-1 será majorado de 10/8 para ser comparado ao esforço solicitante total N .

Ruptura da seção líquida efetiva, considerando o fator de redução C_t igual a 0,73 (ver Probl. 2.3.7).

$$\text{Seção 1-1} \quad N_{dres} = (0,73 \times 53,8) \times 40 \times (10/8)/1,35 = 1454 \text{ kN}$$

$$\text{Seção 2-1-1-2} \quad N_{dres} = (0,73 \times 57,6) \times 40/1,35 = 1246 \text{ kN}$$

Comparando os resultados de esforço resistente à ruptura da seção líquida, vê-se que o percurso 1-1, embora com menor área líquida, não é determinante, pois o esforço na seção 1-1 é inferior ao esforço total N .

b) escoamento da seção bruta

$$N_{dres} = 1444 \text{ kN}$$

c) Ruptura por cisalhamento de bloco

Com a distância agora adotada entre a última seção com furos e a borda do perfil, a ruptura por cisalhamento de bloco não será determinante.

d) Conclusão

O esforço resistente à tração do perfil N_{dres} é igual a 1246 kN.

2.4 | PROBLEMAS PROPOSTOS

2.4.1 Que estados limites podem ser atingidos por uma peça tracionada?

2.4.2 Por que o escoamento da seção líquida de uma peça tracionada com furos não é considerado um estado limite?

2.4.3 Por que as normas impõem limites superiores ao índice de esbeltez de peças tracionadas?

2.4.4 Calcule o esforço resistente à tração da chapa de 20 mm de espessura ligada a outras duas chapas por parafusos de 19 mm de diâmetro. Aço MR250.

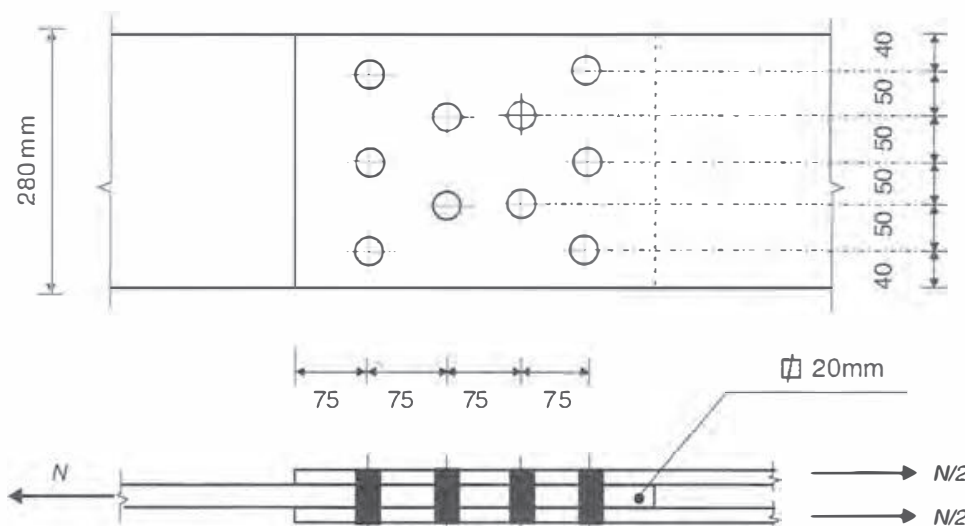


Fig. Probl. 2.4.4

2.4.5 Calcule o esforço resistente da cantoneira tracionada de contraventamento L 50 × 50 × 6 ligada à chapa de nó por parafusos ϕ 9,5 mm (3/8"). Aço MR250.

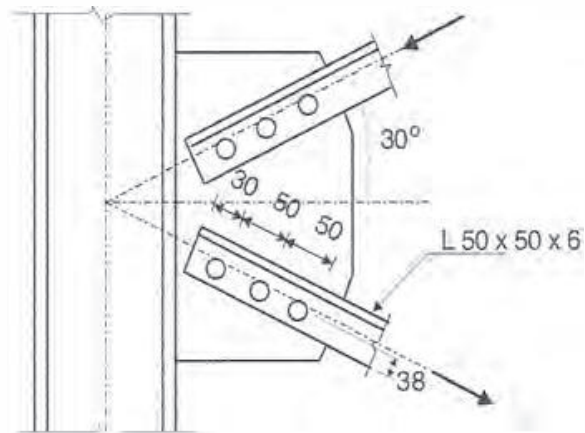


Fig. Probl. 2.4.5

2.4.6 Calcule os comprimentos máximos dos seguintes elementos trabalhando como tirantes:

- barra chata 19 mm × 75 mm;
- cantoneira L 50 × 50 × 6.