

Ligações com Conectores

3.1 | TIPOS DE CONECTORES E DE LIGAÇÕES

O conector é um meio de união que trabalha através de furos feitos nas chapas. Em estruturas usuais, encontram-se os seguintes tipos de conectores: rebites, parafusos comuns e parafusos de alta resistência. Em estruturas fabricadas a partir de 1950, as ligações rebitadas foram substituídas por ligações parafusadas ou soldadas.

3.1.1 Rebites

Os rebites são conectores instalados a quente, o produto final apresentando duas cabeças. Na Fig. 3.1, vemos esquemas do rebite antes e depois da instalação. Pelo resfriamento, o rebite aperta as chapas entre si; o esforço de aperto é, entretanto, muito variável, não se podendo garantir um valor mínimo a considerar nos cálculos. Conseqüentemente, os rebites eram calculados pelos esforços transmitidos por apoio do fuste nas chapas e por corte na seção transversal do fuste (Fig. 3.1 *d*).

3.1.2 Parafusos Comuns

Os parafusos comuns são, comumente, forjados com aços-carbono de baixo teor de carbono, em geral segundo a especificação ASTM A307. Eles têm numa extremidade uma cabeça quadrada ou sextavada e na outra uma rosca com porca, conforme ilustra a Fig. 3.2. No Brasil, utiliza-se com mais frequência a rosca do tipo americano, embora o tipo padronizado seja a rosca métrica.

Os parafusos comuns são instalados com aperto, que mobiliza atrito entre as chapas. Entretanto, o aperto nas chapas é muito variável, não se podendo garantir um valor mínimo a consi-

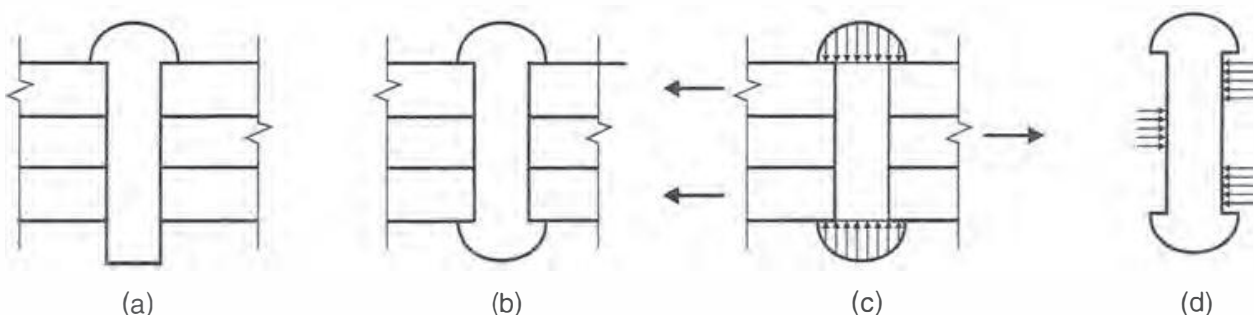


Fig. 3.1 Rebite. (a) Colocação do rebite no furo após seu aquecimento até uma temperatura de cerca de 1000°C. (b) Formação da cabeça arredondada por martelamento (em geral com ferramenta pneumática) e com escoramento do lado da cabeça pré-formada. (c) Com o resfriamento, o rebite encolhe apertando as chapas. (d) Rebite trabalhando a corte.

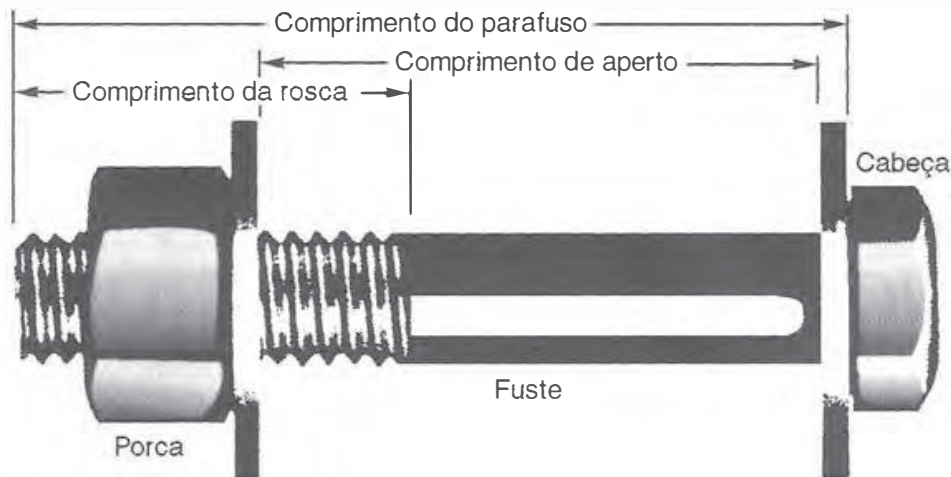


Fig. 3.2 Parafuso com porca sextavada e arruelas.

derar nos cálculos. Devido a isso, os parafusos comuns são calculados de modo análogo ao dos rebites, através das tensões de apoio e de corte.

A Fig. 3.3 ilustra o funcionamento da **ligação** denominada *tipo apoio (ou contato)*, transferindo esforços de tração entre as chapas. A transmissão se dá por apoio das chapas no fuste do parafuso e por esforço de corte na seção transversal do parafuso. As tensões de apoio entre as chapas e o fuste do conector e as tensões de corte no conector são supostas uniformes para efeito de cálculo.

Considerando-se as notações da Fig. 3.3, podem ser escritas as seguintes expressões de tensões no conector:

$$\text{Tensão de corte no parafuso: } \tau = \frac{F}{\pi d^2/4}$$

$$\text{Tensão de apoio do conector na chapa: } \sigma_a = \frac{F}{dt}$$

F = esforço transmitido por um conector em um plano de corte

t = espessura da chapa

d = diâmetro nominal do conector

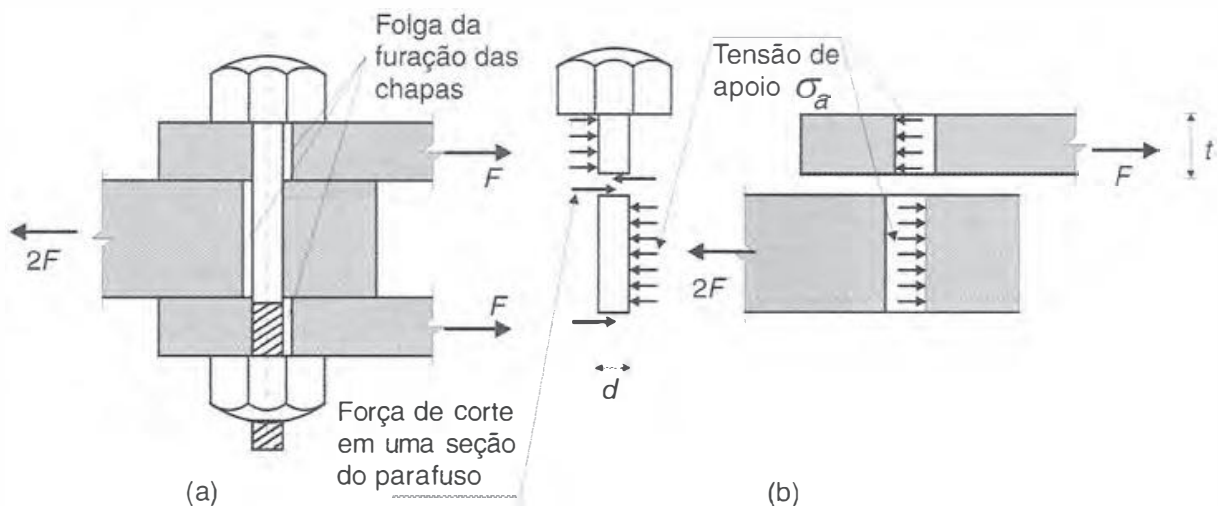


Fig. 3.3 Ligação do tipo apoio: (a) esquema da ligação; (b) diagrama de forças nas chapas e no parafuso.

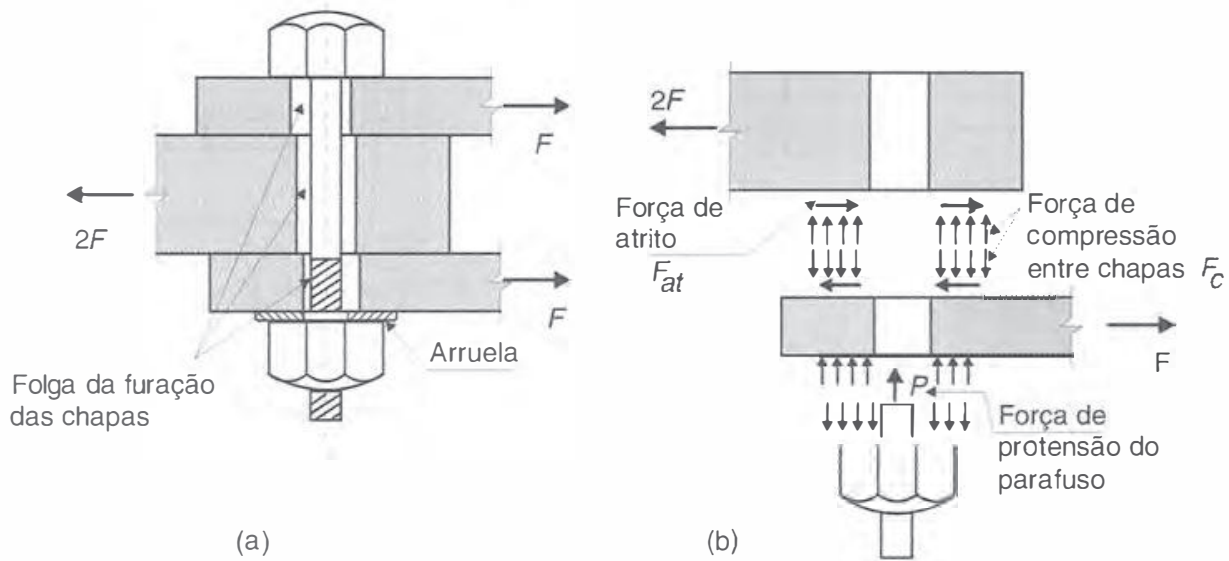


Fig. 3.4 Ligação por atrito: (a) esquema da ligação; (b) diagrama de forças nas peças.

3.1.3 Parafusos de Alta Resistência

Os parafusos de alta resistência são feitos com aços tratados termicamente. O tipo mais usual é o ASTM A325, de aço-carbono temperado. Eles podem ser instalados com esforços de tração mínimos garantidos (ver Tabela A5.2), os quais podem ser levados em conta nos cálculos. Nos casos em que se deseja impedir qualquer movimento entre as chapas de conexão, dimensionam-se os parafusos com um coeficiente de segurança contra o deslizamento, obtendo-se uma **ligação do tipo atrito**. Quando pequenos deslizamentos são tolerados, os parafusos de alta resistência A325 podem ser usados em uma ligação do tipo *apoio* (ver o Item 6.3.1 da NBR 8800). Neste caso, os parafusos são instalados com aperto normal, sem controle da protensão inicial.

O funcionamento da ligação do tipo atrito está ilustrado na Fig. 3.4, onde se observa que a transmissão do esforço F entre as chapas se dá por atrito entre as mesmas, com o parafuso sujeito apenas à tração de instalação P .

Embora os parafusos de alta resistência trabalhem através do esforço de protensão que aplicam nas chapas, o dimensionamento dos mesmos se faz no estado limite último, utilizando tensões nominais de corte ou de apoio, tal como nos casos de rebites e parafusos comuns. Além disso, nas ligações em que um possível deslizamento for prejudicial, como, por exemplo, nos casos de cargas reversíveis com ou sem fadiga, deve-se verificar a resistência ao deslizamento para cargas em serviço, ou para combinações em estado limite último, dependendo do tipo de furo adotado.

3.1.4 Classificação da Ligação Quanto ao Esforço Solicitante dos Conectores

Além da classificação quanto à sua rigidez à rotação (Fig. 1.27), uma ligação pode também ser identificada pelo tipo de sollicitação que impõe aos conectores. Em ligações de peças tracionadas (Fig. 3.5a) que funcionam por apoio das chapas no fuste do conector, este fica sujeito a pressões de contato (Fig. 3.3) que se constituem em um carregamento auto-equilibrado gerando esforços de flexão (esforço cortante e momento fletor) no conector. Como em geral os conectores são de pequeno comprimento, o esforço cortante é determinante na resistência, e por isso denomina-se esta ligação por corte.

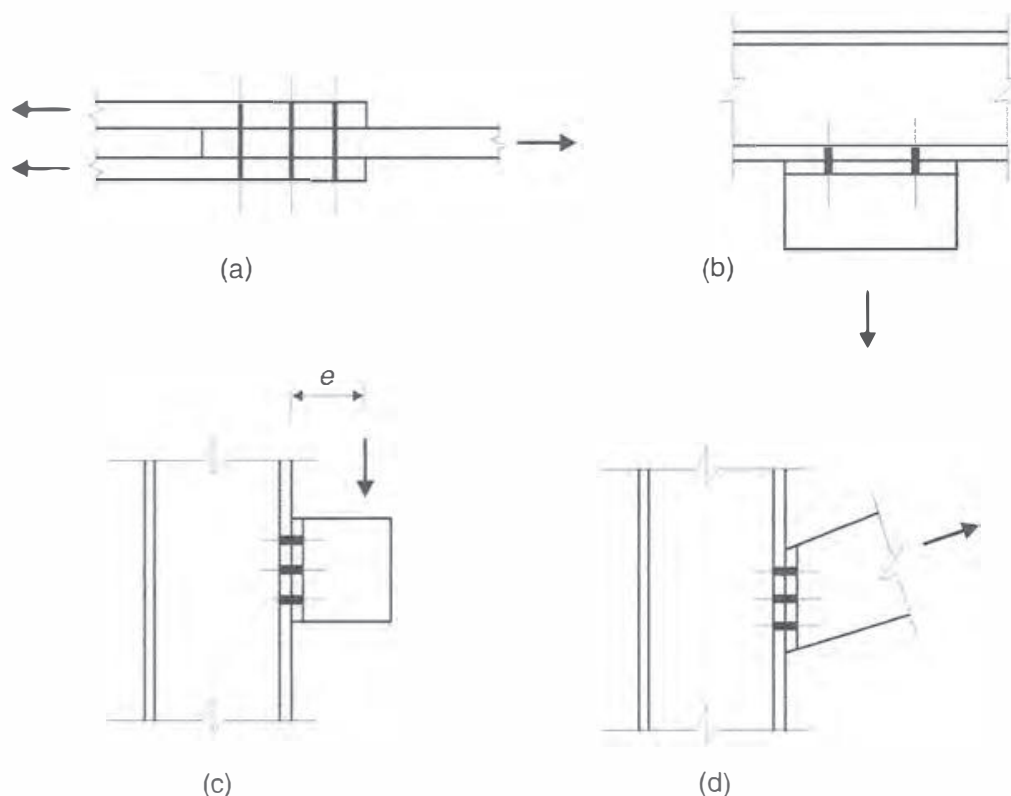


Fig. 3.5 (a) Ligação por corte; (b) ligação por tração; (c) e (d) ligações a corte e tração dos conectores.

Na ligação da Fig. 3.5b, os conectores estão sujeitos à tração axial, enquanto nas ligações das Figs. 3.5c e 3.5d os conectores sofrem esforços de tração e corte. Os parafusos superiores da ligação da Fig. 3.5c ficam tracionados por ação do momento produzido na ligação pela excentricidade de carga, e na ligação da Fig. 3.5d todos os parafusos ficam igualmente tracionados devido à componente horizontal da carga.

Conforme a disposição relativa das chapas a ligar, varia o número de seções do conector que trabalham a corte. Na Fig. 3.6, veem-se esquemas de ligações com conectores trabalhando em corte simples, em corte duplo e em corte múltiplo.

Nas ligações em corte simples (Fig. 3.6a), a transmissão da carga se faz com uma excentricidade que produz tração nos conectores (Fig. 3.6b). As ligações em corte duplo evitam esse inconveniente, produzindo apenas corte e flexão nos conectores.

3.2 | DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

3.2.1 Furação de Chapas

Os conectores são instalados em furos feitos nas chapas. A execução desses furos é onerosa, tornando-se necessária a padronização de dimensões e espaçamentos, a fim de permitir furações múltiplas nas fábricas.

O furo-padrão para parafusos comuns deverá ter uma folga de 1,5 mm em relação ao diâmetro nominal do parafuso (Fig. 3.7a); essa tolerância é necessária para permitir a montagem das peças.

O processo mais econômico de furar é o puncionamento no diâmetro definitivo, o que pode ser feito para espessura t de chapa até o diâmetro nominal do conector, mais 3 mm.

$$t \leq d + 3 \text{ mm}$$

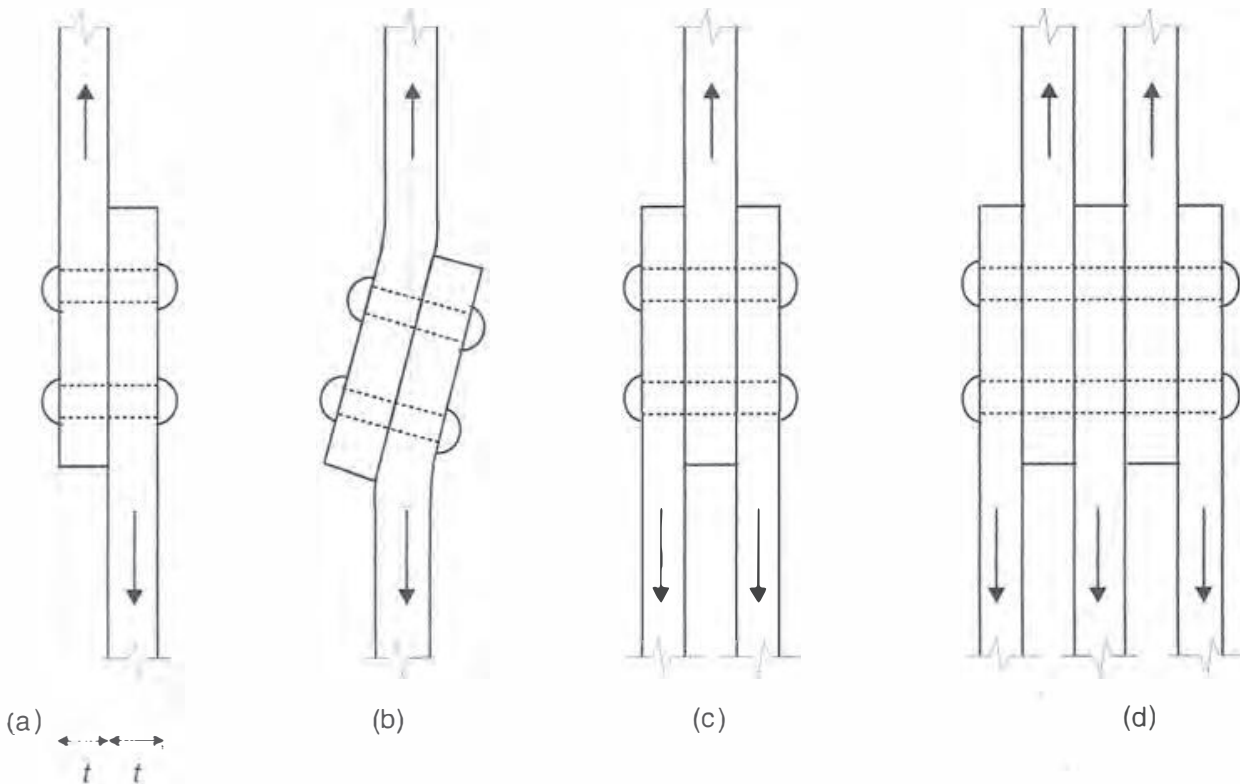


Fig. 3.6 Ligações com conectores: (a) e (b) corte simples; (c) corte duplo; (d) corte múltiplo.

Para chapas mais grossas, os furos deverão ser abertos com broca ou por punção inicialmente com diâmetro pelo menos 3 mm inferior ao definitivo e, posteriormente, alargados com broca.

Como o corte do furo por punção danifica uma parte do material da chapa, considera-se, para efeito de cálculo da seção líquida da chapa furada, um diâmetro fictício igual ao diâmetro do furo (d') acrescido de 2 mm, ou seja,

$$\text{diâmetro fictício} = d' + 2 \text{ mm} = d + 3,5 \text{ mm}$$

Além do furo-padrão, as ligações podem ser feitas com furos alargados ou alongados, ilustrados na Fig. 3.7. O emprego dos furos alargados e alongados na direção da força se restringe às ligações do tipo atrito, enquanto os furos alongados com a maior dimensão do furo normal

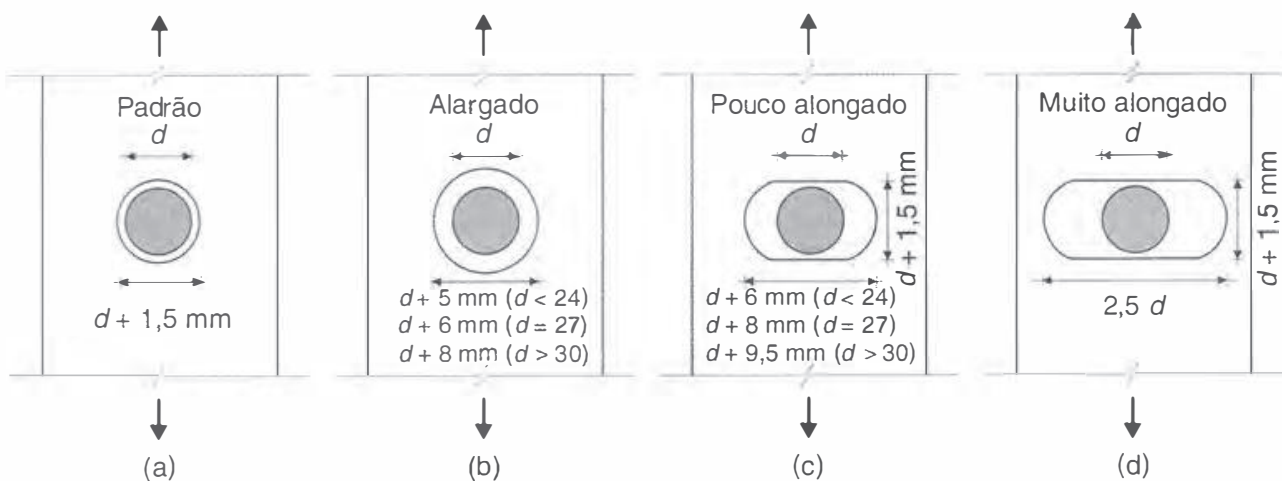


Fig. 3.7 Tipos de furos: (a) furo-padrão; (b) furo alargado; (c) furo pouco alongado; (d) furo muito alongado (d = diâmetro nominal do parafuso).

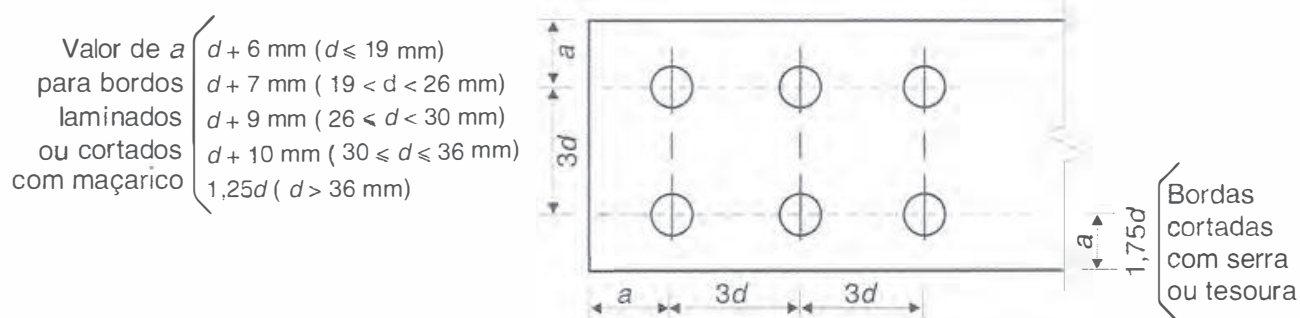


Fig. 3.8 Espaçamentos construtivos mínimos recomendados para conectores, com furação-padrão (ver Seção 3.2.1).

à direção da força podem ser usados em ligações do tipo apoio. Os furos alargados e alongados só devem ser usados em situações especiais, para atender a dificuldades de montagem, necessitando de aprovação do responsável pelo projeto.

3.2.2 Espaçamentos dos Conectores

Espaçamentos Mínimos Construtivos para Furos do Tipo Padrão

A Fig. 3.8 resume as indicações da NBR 8800 para espaçamentos mínimos no caso de furos do tipo padrão.

Espaçamentos Máximos

Os espaçamentos máximos entre conectores são utilizados para impedir penetração de água e sujeira nas interfaces. Eles são dados em função da espessura t da chapa mais fina (NBR 8800):

- $24 t$ ($< 300 \text{ mm}$) para elementos pintados ou não-sujeitos à corrosão;
- $14 t$ ($< 180 \text{ mm}$) para elementos sujeitos à corrosão, executados com aços resistentes à corrosão, não-pintados.

A distância máxima de um conector à borda da chapa é tomada igual a $12 t \triangleright 150 \text{ mm}$.

Padronização de Espaçamentos

Os desenhos de projeto devem ser adequados aos equipamentos de fabricação. Nas linhas de produção, procura-se utilizar conjuntos padronizados de brocas ou punções, que economizam tempo. A padronização de espaçamento é condição essencial para automatização das linhas de produção.

A Fig. 3.9 mostra a padronização americana para os gabaritos de furação em perfis-cantoneira.

Aba	203	178	152	127	102	89	76	64
g	114	102	90	76	64	50	44	35
g_1	76	64	57	50				
g_2	76	76	64	44				

Nota: Dimensões em mm.

Fig. 3.9 Exemplo de gabaritos de furação (padrão americano).

3.3 DIMENSIONAMENTO DOS CONECTORES E DOS ELEMENTOS DA LIGAÇÃO

Esta seção trata da resistência de ligações com conectores sujeitos a corte e tração, sem efeito de fadiga.

3.3.1 Resistência dos Aços Utilizados nos Conectores

Tabela 3.1 Propriedades Mecânicas dos Aços para Conectores

Tipo de conector		f_y (MPa)	f_u (MPa)
Rebites ASTM A502 ou EB-49	Grau 1		415
	Grau 2		525
Parafusos comuns ASTM A307	$d \leq 102$ mm (4")		415
Parafusos de alta resistência ASTM A325	$12,7$ mm (1/2") $\leq d \leq 25,4$ mm (1")	635	825
	$25,4$ mm (1") $\leq d \leq 38,1$ mm (1 1/2")	560	725
Parafusos de alta resistência ASTM A490	$12,7$ mm (1/2") $\leq d \leq 38,1$ mm (1 1/2")	895	1035
Barras rosqueadas	ASTM A36	250	400
	ASTM A588	345	485

3.3.2 Tipos de Rupturas em Ligações com Conectores

O dimensionamento dos conectores no estado limite último é feito com base nas modalidades de rupturas da ligação, representadas na Fig. 3.10:

- colapso do conector
- colapso por rasgamento da chapa ou ovalização do furo
- colapso por tração da chapa

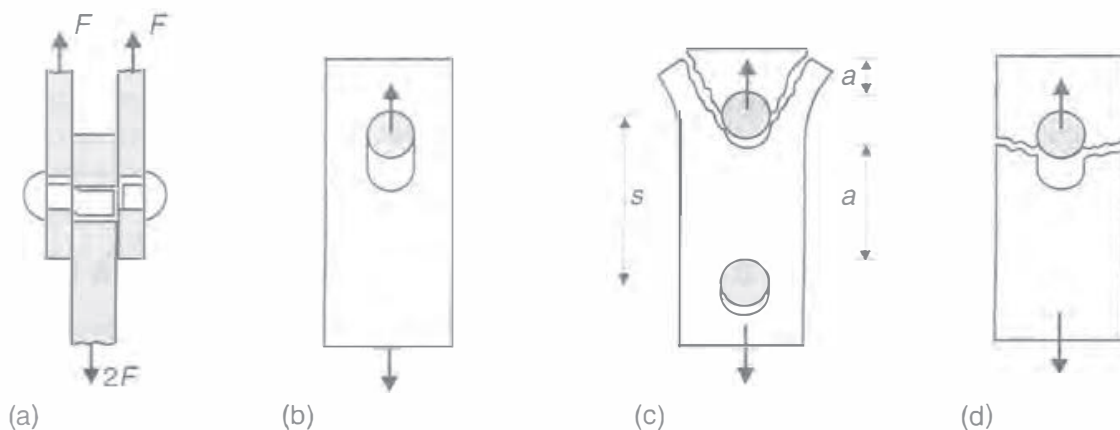


Fig. 3.10 Modalidades de ruptura de uma ligação com conectores: (a) ruptura por corte do fuste do conector; (b) ruptura por ovalização do furo por plastificação local da chapa na superfície de apoio do fuste do conector; (c) ruptura por rasgamento da chapa entre o furo e a borda ou entre dois furos consecutivos; (d) ruptura por tração da chapa na seção transversal líquida.

3.3.3 Dimensionamento a Corte dos Conectores

A resistência de projeto de conectores a corte (ver Fig. 3.10a) é dada por

$$\frac{R_m}{\gamma_{a2}}$$

onde

$\gamma_{a2} = 1,35$ para solicitações originadas de combinações normais de ações (ver Tabela 1.7)

R_m = resistência nominal para um plano de corte.

A resistência ao corte é calculada com a tensão de ruptura do aço sob cisalhamento, aproximadamente igual a $0,6 f_u$, onde f_u é a tensão de ruptura à tração do aço do conector.

Parafusos em Geral e Barras Rosqueadas

$$R_m = (0,7 A_g)(0,6 f_u) \approx 0,40 A_g f_u \quad (3.1a)$$

A Eq. (3.1a) admite a situação mais desfavorável de plano de corte passando pela rosca, considerando a área da seção efetiva da rosca igual a 0,7 da área da seção do fuste.

Parafusos de Alta Resistência (A325, A490), com Rosca Fora do Plano de Corte

$$R_m = 0,5 A_s f_u \quad (3.1b)$$

Quando não se tiver certeza do posicionamento da rosca em relação ao plano de corte, deve-se calcular a resistência pelo caso mais desfavorável de plano de corte passando pela rosca.

Parafusos de Alta Resistência em Ligações por Atrito

No caso de parafusos de alta resistência, em ligações por atrito, é necessário verificar adicionalmente a resistência ao deslizamento da ligação.

Conectores Longos

No caso de conectores longos, há perda de eficiência devido à flexão do conector. Por conveniência, o cálculo é feito com tensões reduzidas empiricamente, sem considerar a flexão do fuste do conector. Denomina-se *pega* do conector o comprimento de seu fuste, entre as faces internas das cabeças. Para conectores em ligações por apoio com pega superior a cinco vezes seu diâmetro, adota-se uma redução, na resistência, de 1% para cada 1,5 mm de excesso de pega.

3.3.4 Dimensionamento a Rasgamento e Pressão de Apoio da Chapa

No caso de *furação-padrão*, a resistência R_d à pressão de apoio entre o fuste do conector e a parede do furo (Fig. 3.10b) e ao rasgamento da chapa entre conectores ou entre um conector e uma borda (Fig. 3.10c) é dada por R_n / γ_{a2} , com γ_{a2} dado na Tabela 1.7. R_n é o menor dos valores obtidos com as seguintes expressões:

Pressão de apoio (contato conector-chapa)

$$R_n = 2,4 dt f_u \quad (3.2a)$$

Rasgamento

$$R_n = 1,2 a t f_u \quad (3.2b)$$

onde a = distância entre a borda do furo e a extremidade da chapa medida na direção da força solicitante para a resistência ao rasgamento entre um furo extremo e a borda da chapa;

a = distância entre a borda do furo e a borda do furo consecutivo, medida na direção da força solicitante para a determinação da resistência ao rasgamento da chapa entre furos; igual a $(s - d)$, sendo s o espaçamento entre os centros de furos;

d = diâmetro nominal do conector;

t = espessura da chapa;

f_u = resistência à ruptura por tração do aço da chapa.

As Eqs. (3.2a) e (3.2b) podem ser usadas também para ligações com furos alargados e alongados, com exceção de furo muito alongado na direção perpendicular à força.

A resistência da chapa à pressão de apoio dada pela Eq. (3.2a) está relacionada a uma restrição da ovalização do furo a 6 mm, valor que pode ser excedido para tensões de apoio maiores que $2,4 f_u$ sem, contudo, haver colapso. Nas situações em que a deformação da ligação decorrente de ovalização do furo for aceitável para cargas em serviço (por exemplo, nos casos em que as cargas permanentes sejam predominantes e as contraflechas possam ser executadas), as expressões (3.2) para resistência da chapa podem ser substituídas por:

$$R_n = 3,0 d t f_u \quad (3.3a)$$

$$R_n = 1,5 a t f_u \quad (3.3b)$$

3.3.5 Dimensionamento a Tração dos Conectores

A resistência de cálculo de conectores ou barras rosqueadas à tração é dada por

$$\frac{R_n}{\gamma_{a_2}}$$

onde

$\gamma_{a_2} = 1,35$ para solicitações decorrentes de combinações normais de ações (ver Tabela 1.7);

R_n = resistência nominal à tração.

Parafusos e Barras Rosqueadas

Para parafusos e barras rosqueadas, com diâmetro nominal igual ou superior a 12 mm, R_n pode ser expresso em função da área bruta (A_g) do fuste.

$$R_n = 0,75 A_g f_u \quad (3.4)$$

onde 0,75 representa a relação entre a área efetiva da parte rosqueada e a área bruta do fuste.

Em barras rosqueadas, a resistência R_n fica limitada ao escoamento da seção bruta da barra [ver Eq. (2.2)].

3.3.6 Dimensionamento a Tração e Corte Simultâneos – Fórmulas de Interação

No caso de incidência simultânea de tração e corte, verifica-se a interação das duas solicitações por meio da seguinte equação elíptica:

$$\left(\frac{V_d}{R_{vt}/\gamma_{v2}} \right)^2 + \left(\frac{T_d}{R_{tt}/\gamma_{t2}} \right)^2 \leq 1,0 \quad (3.5)$$

onde V_d e T_d são, respectivamente, os esforços de corte e de tração de projeto nos parafusos e R_{vt} e R_{tt} , as resistências a corte e tração dadas nas Eqs. (3.1) e (3.4), respectivamente.

3.3.7 Resistência ao Deslizamento em Ligações por Atrito

No projeto de ligações por atrito, a ocorrência de deslizamento pode ser considerada um estado limite de utilização ou um estado limite último, dependendo do tipo de furo executado. As ligações por atrito em chapas com furos tipo padrão ou furos alongados na direção perpendicular à da força (Fig. 3.7) devem ser dimensionadas para garantir a resistência ao deslizamento para cargas em serviço.

Já para chapas com furos alargados ou furos alongados na direção da força, o deslizamento deve ser tomado como um estado limite último (NBR 8800, AISC). Isto se justifica, em face da hipótese de pequenos deslocamentos usualmente adotada na análise estrutural, a qual poderia não ser atendida para cargas majoradas (em estado limite último), caso a resistência ao deslizamento para esses tipos de furos só estivesse garantida até o nível das cargas de serviço.

Em ligações por atrito, quando se quer evitar deslocamentos relativos entre as chapas conectadas, é necessário garantir que a força transferida por atrito seja menor que a máxima força de atrito disponível entre as chapas.

Com a notação da Fig. 3.4 pode-se escrever a máxima força de atrito $F_{at, máx}$ disponível entre as chapas sujeitas à tração longitudinal.

$$F_{at, máx} = \mu F_v = \mu P$$

onde

- P = força de protensão inicial no parafuso;
- μ = coeficiente de atrito entre as superfícies.

De acordo com a NBR 8800, nos casos em que o deslizamento é um estado limite de utilização, a resistência correspondente a um parafuso por plano de deslizamento pode ser calculada com

$$R_v = 0,80 \mu P C_{ii} \quad (3.6)$$

onde

- P = força mínima de protensão dada nas Tabelas A5.2, Anexo A;
- C_{ii} = é um fator de redução que depende do tipo de furo, sendo igual a 1, para furos do tipo padrão;
- μ = 0,35 para superfícies laminadas, limpas, isentas de óleos ou graxas e sem pintura (Classe A) e para superfícies galvanizadas a quente com rugosidade aumentada manualmente por meio de escova de aço (Classe C); para outras situações, consultar a NBR 8800 (2008).

Se, além da força F de tração longitudinal, as chapas estiverem também sujeitas a uma tração perpendicular T , a força de compressão F_c entre as chapas é reduzida e a resistência ao deslizamento R_v [Eq. (3.6)] deve ser multiplicada pelo fator

$$1 - \frac{T}{0,80 P}$$

A resistência ao deslizamento calculada por meio da Eq. (3.6) deve ser maior que a força de corte transmitida na ligação devida à combinação rara mais desfavorável de cargas em estado limite de utilização [Eq. (1.14c)].

A expressão da resistência para as situações em que o deslizamento é um estado limite último pode ser encontrada no Item 6.3.4.3 da NBR 8800 (2008).

3.3.8 Resistência das Chapas e Elementos de Ligação

As chapas de ligação (por exemplo, chapas de emendas e chapas gusset), sujeitas à tração, são verificadas pelas [Eqs. (2.1a) e (2.1b)] com áreas efetivas.

Para os elementos de ligação sujeitos à compressão e de pequena esbeltez [$Kl/i < 25$, ver Eq. (5.2)] pode-se determinar a resistência associada ao estado limite de escoamento:

$$R_d < A_g f_y / \gamma_{a1} \quad (3.7)$$

Em caso contrário ($Kl/i > 25$) o elemento fica sujeito à flambagem e devem ser seguidas as precisões dadas no Cap. 5.

As chapas de ligação e peças na região de ligação, sujeitas a cisalhamento, são dimensionadas com base nas resistências ao escoamento da seção bruta,

$$R_d = A_g (0,6 f_y) / \gamma_{a1}, \text{ com } \gamma_{a1} = 1,10 \quad \text{para esforços decorrentes de combinações normais de ações} \quad (3.8a)$$

e ruptura da seção líquida,

$$R_d = A_n (0,6 f_u) / \gamma_{a2}, \text{ com } \gamma_{a2} = 1,35 \text{ (ver Tabela 1.7)} \quad (3.8b)$$

onde a área líquida A_n é obtida deduzindo-se a área correspondente ao diâmetro nominal do conector.

Os elementos de ligação também devem ser dimensionados de forma a impedir a ruptura por cisalhamento de bloco em um perímetro definido pelos furos, envolvendo cisalhamento nos planos paralelos à força e tração em um plano normal à força, conforme ilustrado na Fig. 3.11. O cálculo da resistência é feito com a Eq. (2.8).

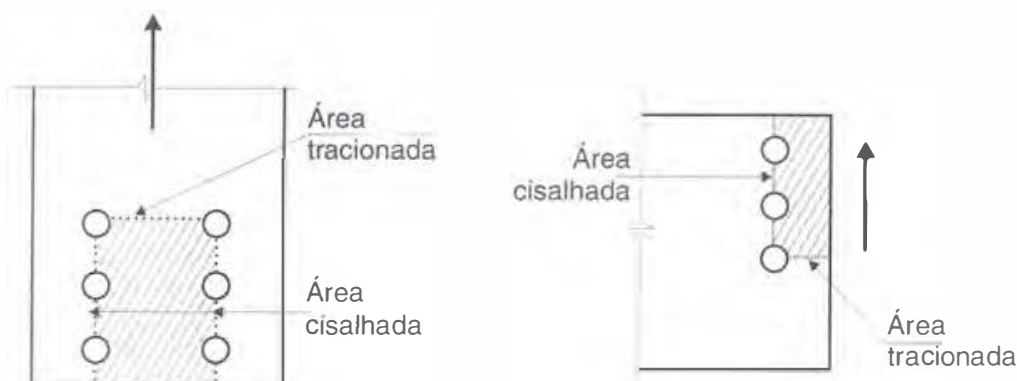


Fig. 3.11 Ruptura por cisalhamento de bloco de uma chapa de ligação. O esforço é transferido à chapa pelos conectores, ligados à outra chapa ou perfil.

3.3.9 Combinações de Conectores

O trabalho em conjunto de conectores diferentes depende da rigidez da ligação executada com cada tipo.

Em construções novas ou existentes, os parafusos de alta resistência, em ligações por atrito, podem ser considerados trabalhando em conjunto com rebites.

3.4 DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS ENTRE CONECTORES EM ALGUNS TIPOS DE LIGAÇÃO

A distribuição de esforços entre conectores de uma ligação é bastante variável devido a sua sensibilidade a fatores como:

- imperfeições geométricas oriundas da fabricação por corte, furação e solda;
- existência de tensões residuais.

Na prática, o cálculo dos esforços solicitantes nos conectores de uma ligação é geralmente feito com um modelo simples e racional no qual adota-se um esquema de equilíbrio de forças e verifica-se a resistência dos elementos envolvidos. Para as geometrias e dimensões usuais considera-se que os elementos da ligação são rígidos e que os conectores se deslocam em função do movimento relativo entre os elementos ligados.

3.4.1 Ligação Axial por Corte

Numa ligação axial por corte com diversos conectores (rebites ou parafusos), em geral se admite que o esforço transmitido se distribua igualmente entre os conectores. Essa distribuição de esforços é, entretanto, estaticamente indeterminada. Para deformações em regime elástico, os primeiros conectores em carga absorvem as maiores parcelas de esforços (Fig. 3.12a). Com o

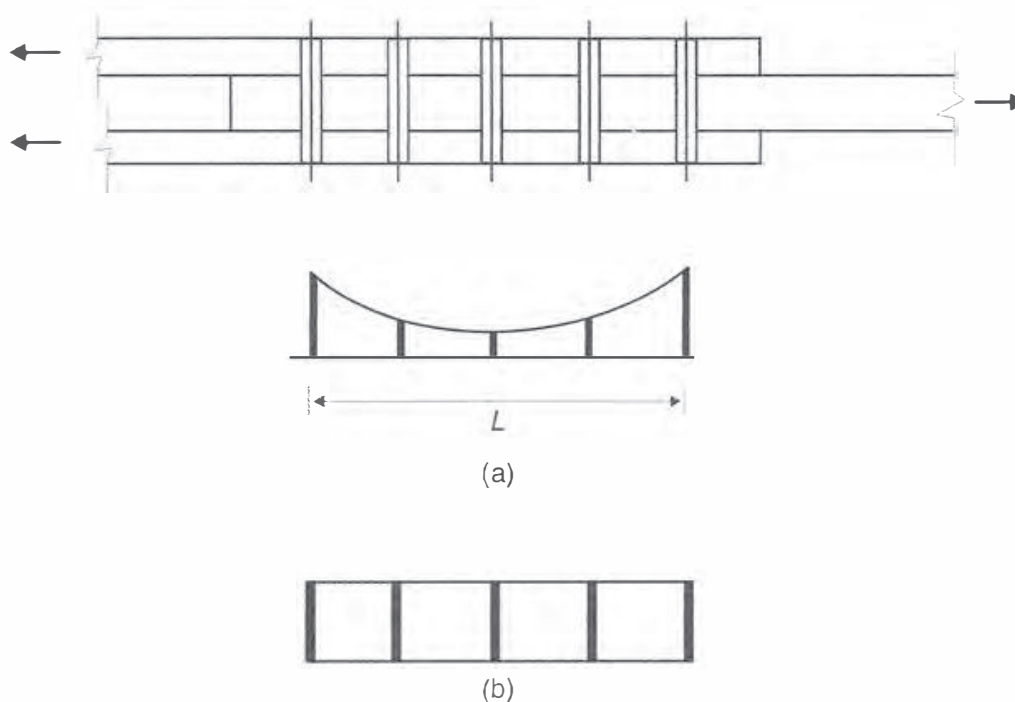


Fig. 3.12 Distribuição de esforços entre conectores: (a) em regime elástico; (b) com deformações plásticas.

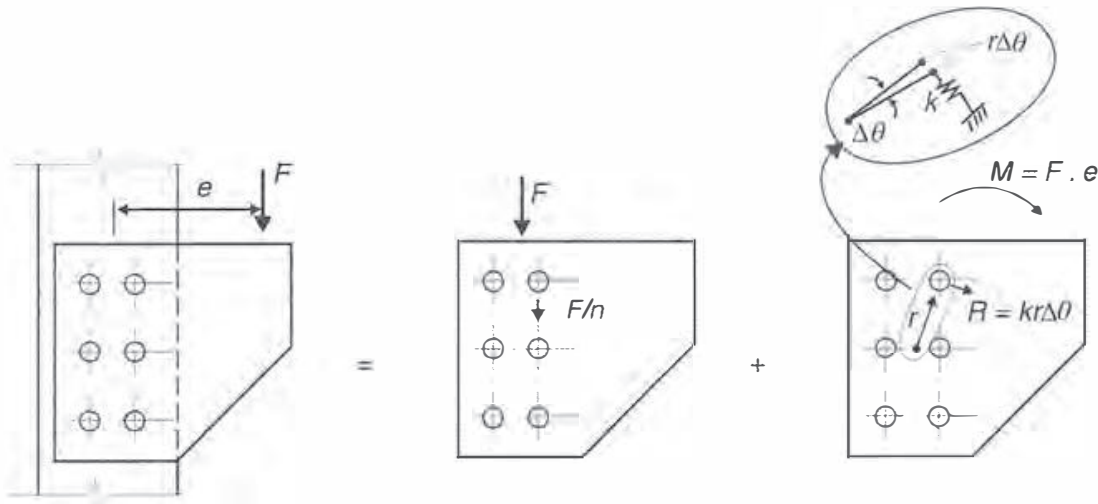


Fig. 3.13 Ligação excêntrica por corte.

aumento dos esforços, os conectores mais solicitados sofrem deformações plásticas, transferindo-se os esforços adicionais para os conectores intermediários, do que resulta uma distribuição aproximadamente uniforme de esforços entre os conectores (Fig. 3.12b). Entretanto, se a ligação for longa, poderá ocorrer ruptura dos conectores de extremidade antes que se atinja a uniformidade dos esforços nos conectores, reduzindo assim a resistência da ligação por conector.

De acordo com a NBR 8800, se $L > 1270$ mm a força F solicitante deve ser multiplicada por 1,25 para levar em conta a distribuição não uniforme de esforços entre os parafusos.

A distribuição uniforme de esforços cisalhantes entre conectores permite que o cálculo da resistência à corte de um grupo de n conectores seja obtida multiplicando-se por n a resistência de um conector, dada pelas Eqs. (3.1). Por outro lado, quando ocorre o estado limite de ovalização do furo (seguido ou não de rasgamento), altera-se a distribuição elástica de esforços (Fig. 3.12a), solicitando-se mais os conectores nas posições de maior rigidez à ovalização do furo. Por isso, a resistência do grupo de conectores a pressão de apoio e rasgamento pode ser tomada como a soma das resistências individuais dos conectores dadas pelas Eqs. (3.2).

3.4.2 Ligação Excêntrica por Corte

Na ligação excêntrica por corte, ilustrada na Fig. 3.13, os parafusos ficam submetidos apenas ao corte, mas a linha de ação da força não passa pelo centro de gravidade dos parafusos.

Para efeito de cálculo, podemos decompor a carga excêntrica em uma carga centrada e um momento.

A carga centrada F se admite igualmente distribuída entre os conectores (comportamento plástico). Sendo n o número de conectores, cada um recebe a carga

$$F/n \quad (3.9)$$

Para o momento $M = F \cdot e$ admite-se que a placa constitua um disco rígido e que os conectores sejam seus apoios elásticos com coeficientes de rigidez k . Para uma rotação $\Delta\theta$ da placa, um conector situado a uma distância r do centro de rotação da placa (que coincide com o centro de gravidade dos conectores) terá uma solicitação $kr\Delta\theta$, contribuindo com uma parcela de momentos $kr^2\Delta\theta$. A equação de equilíbrio $\sum M = 0$ nos dá:

$$\sum kr^2 = k\sum r^2 = M/\Delta\theta$$

O esforço no conector vale então:

$$R = kr \Delta\theta = \frac{M}{\sum r^2} r \quad (3.10)$$

A Eq. (3.10) é análoga à flexão simples, o que não constitui coincidência, pois as hipóteses de cálculo descritas são equivalentes às adotadas na flexão simples.

O esforço R é perpendicular à distância r . Há vantagem em calcular diretamente os componentes R_x e R_y do esforço R , com as equações:

$$R_x = \frac{M}{\sum r^2} y \quad (3.11)$$

$$R_y = \frac{M}{\sum r^2} x \quad (3.12)$$

O esforço total de corte no conector resulta da soma vetorial dos efeitos da força centrada e dos momentos. Convém reiterar que os esforços assim calculados são nominais, uma vez que o comportamento da ligação para cargas de serviço não coincide com as hipóteses de cálculo.

3.4.3 Ligação a Tração

A Fig. 3.14a mostra uma ligação simples a tração.

A distribuição de forças nos parafusos depende da rigidez à flexão do flange. Na Fig. 3.14b o flange é suficientemente rígido e os parafusos ficam sujeitos à tração pura, enquanto o flange fica sujeito ao momento fletor da Fig. 3.14c, distribuído em uma certa profundidade. Entretanto, se a deformação do flange não puder ser desprezada, o parafuso fica submetido à tração e flexão devido ao efeito de alavanca. Além disso, a força de tração fica acrescida da força de alavanca Q (Fig. 3.14d). O tratamento para este problema pode ser encontrado em Queiroz (1993).

A norma brasileira NBR 8800 apresenta critérios simplificados para se considerar no projeto o efeito de alavanca.

Nas ligações solicitadas a tração simples com rebites ou parafusos comuns, o pré-esforço no conector não tem valor mínimo garantido. Assim, no trabalho a tração simples, o alongamento do conector pode provocar a separação entre as partes ligadas.

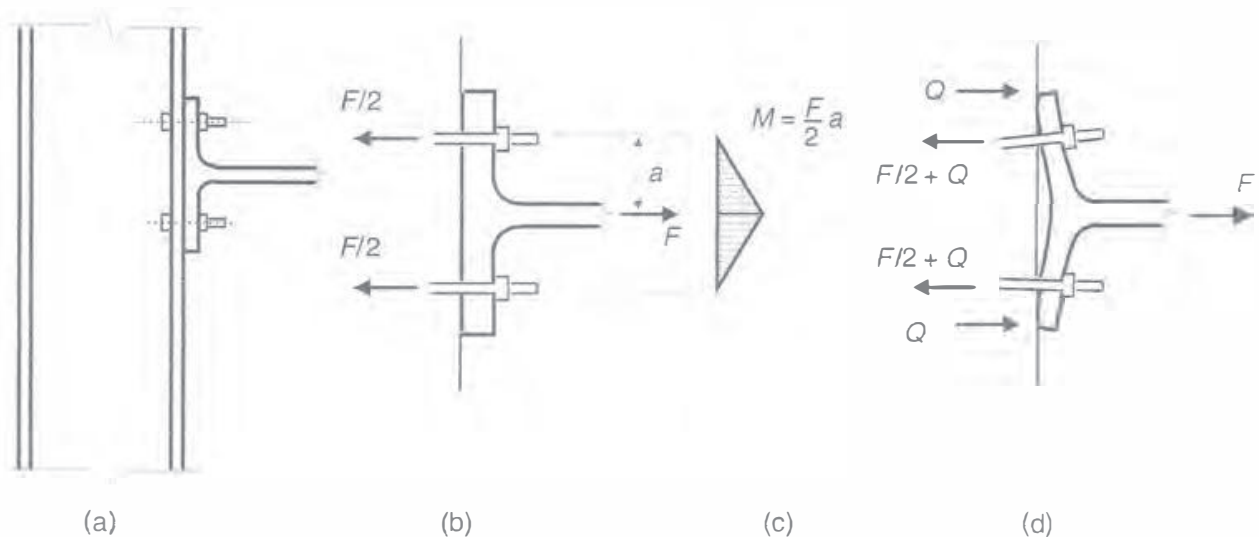


Fig. 3.14 Ligação com parafuso sujeito à tração, sem e com deformação dos elementos da ligação.

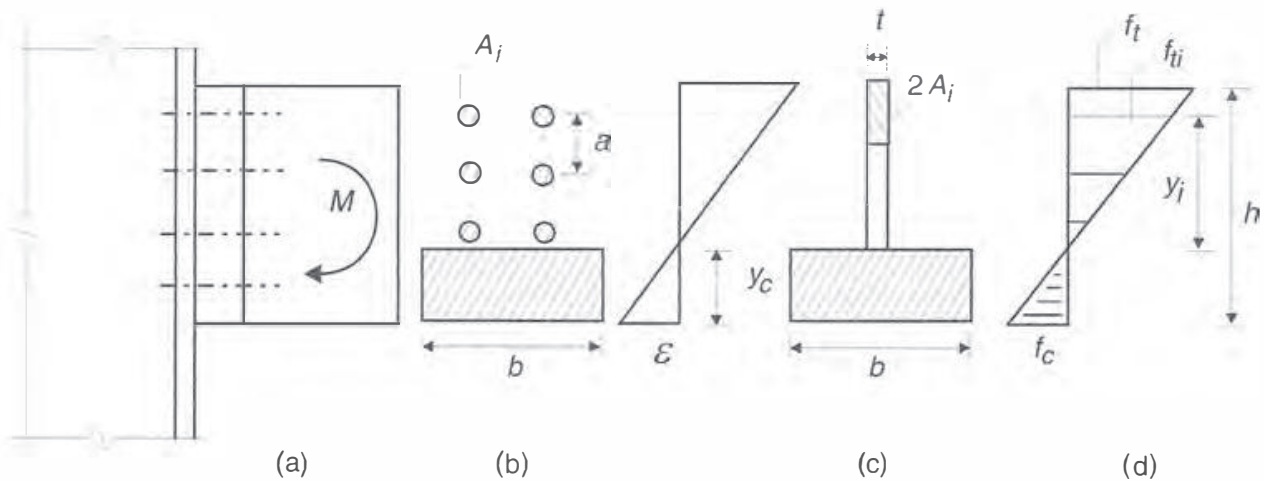


Fig. 3.15 Ligação com rebites ou parafusos comuns sujeitos a corte e tração.

Nas ligações a tração simples com parafusos protendidos de alta resistência, as chapas estão pré-comprimidas, de modo que a tração solicitante apenas reduz esta pré-compressão, não provocando separação entre as partes ligadas. Neste caso, o acréscimo de esforço no parafuso em relação à protensão inicial é pequeno, desde que não haja efeito de alavanca.

3.4.4 Ligação com Corte e Tração nos Conectores

As Figs. 3.5c e 3.5d ilustram tipos de ligação em que os conectores ficam sujeitos a corte e tração. Na Fig. 3.5c alguns parafusos ficam tracionados devido à ação de um momento na ligação, enquanto na ligação da Fig. 3.5d tem-se um esforço axial de tração.

A força que produz corte nos parafusos pode ser distribuída igualmente entre eles. Já a distribuição de esforços devidos ao momento depende do tipo de ligação.

Em uma ligação com rebites ou parafusos comuns (Fig. 3.15a), como a protensão inicial não tem valor garantido, a ação do momento na ligação produzirá tração nos parafusos superiores e compressão entre as chapas na parte inferior. Supõe-se que o diagrama de tensões seja linear, e a soma das áreas dos parafusos tracionados espaçados de a pode ser transformada em um retângulo de altura $(h - y_c)$ e largura

$$t = \frac{2A_i}{a}$$

formando a seção em T invertido da Fig. 3.15c. A determinação da posição da linha neutra y_c (Fig. 3.15b) é feita com o equilíbrio de esforços normais

$$f_c \frac{b}{2} y_c = f_t \frac{t}{2} (h - y_c), \text{ com } f_t = \frac{f_c}{y_c} (h - y_c) \quad (3.13)$$

O momento de inércia da seção composta é

$$I = \frac{b y_c^3}{3} + \frac{t}{3} (h - y_c)^3 \quad (3.14)$$

E a tensão de tração no parafuso mais solicitado é obtida com

$$f_{ti} = \frac{M}{I} y_i \quad (3.15)$$

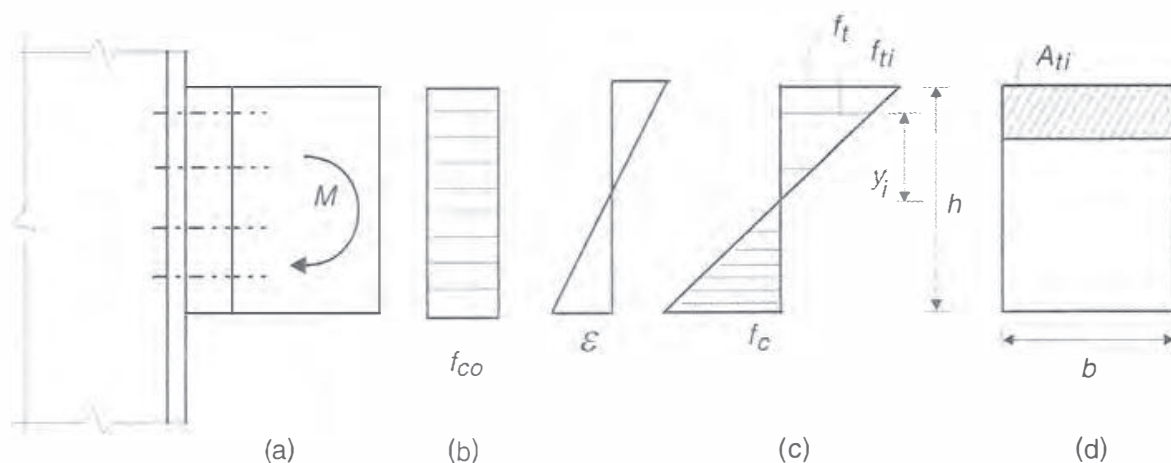


Fig. 3.16 Ligação com parafusos de alta resistência instalados com protensão controlada e sujeitos a corte e tração.

Em uma ligação com parafusos protendidos de alta resistência, as chapas estão pré-comprimadas, de modo que a tração oriunda do momento na ligação apenas reduz esta pré-compressão. Neste caso, as chapas estão em contato em toda a altura da ligação, e a linha neutra está a meia altura (Fig. 3.16). A tensão de tração no topo da chapa devida ao momento

$$f_t = \frac{6M}{bh^2} \quad (3.16)$$

não deve ultrapassar a tensão de pré-compressão f_{co} .

Não havendo separação entre as peças ($f_t < f_{co}$), o acréscimo de força de tração no parafuso em relação à protensão inicial P é pequeno (ver Item 3.4.3).

Por outro lado, a resistência ao deslizamento é reduzida pelo fator $(1 - T/0,80 P)$, onde T é a resultante de tração na região do parafuso superior (ver Item 3.3.7).

3.5 PROBLEMAS RESOLVIDOS

3.5.1 Duas chapas de 204 mm × 12,7 mm (1/2") em aço ASTM A36 são emendadas com chapas laterais de 9,5 mm (3/8") e parafusos comuns (A307) $\phi 22$ mm.

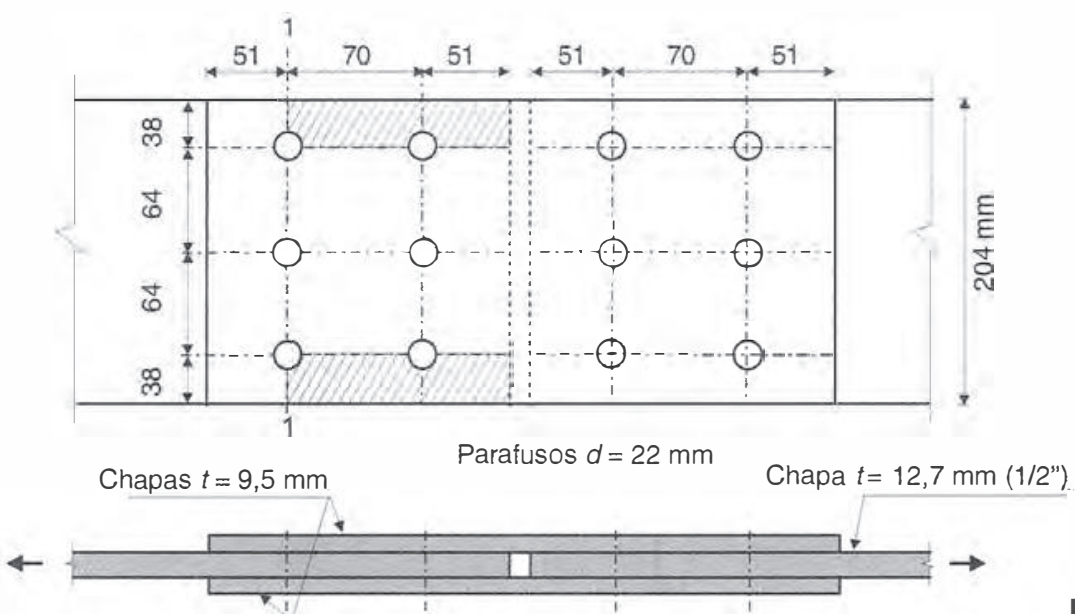


Fig. Probl. 3.5.1

As chapas estão sujeitas às forças $N_g = 200$ kN, oriunda de carga permanente, e $N_q = 100$ kN, oriunda de carga variável decorrente do uso da estrutura. Verificar a segurança da emenda no estado limite último em combinação normal de ações.

Solução

Esforço solicitante de projeto

$$N_d = 1,4 \times 200 + 1,5 \times 100 = 430 \text{ kN}$$

O esforço resistente de cálculo a tração (R_{dt}) será o menor entre os encontrados nos seguintes casos:

a) Corte (corte duplo dos parafusos)

$$R_{dt} = 0,40 \times 3,88 \times 41,5 \times 2 \times 6/1,35 = 572 \text{ kN}$$

b) Pressão de apoio e rasgamento da chapa

Parafusos externos: $a = 51 - 11,7 = 39,3 \text{ mm} < 2d = 44 \text{ mm}$

$$R_{dt} = 1,2 \times 40 \times 3,93 \times 1,27/1,35 = 177,5 \text{ kN}$$

Parafusos internos: $a = 70 - 23,5 = 46,5 \text{ mm} > 2d$

$$R_{dt} = 2,4 \times 2,2 \times 1,27 \times 40/1,35 = 198,7 \text{ kN}$$

Resistência da ligação

$$R_{dt} = 3 \times 177,5 + 3 \times 198,7 = 1128,4 \text{ kN}$$

c) Tração na chapa 12,7 mm (1/2")

Ruptura da seção líquida [Eq. (2.1)]

$$A_n = [20,4 - 3(2,22 + 0,35)] 1,27 = 16,12 \text{ cm}^2$$

$$R_{dt} = 16,12 \times 40/1,35 = 477,6 \text{ kN}$$

Escoamento da seção bruta

$$R_{dt} = 20,4 \times 1,27 \times 25/1,10 = 588,8 \text{ kN}$$

d) Ruptura por cisalhamento de bloco da chapa de 12,7 mm (1/2") como ilustrado na Fig. Probl. 3.5.1. Utiliza-se a Eq. (2.8):

$$A_{gv} = 12,1 \times 1,27 \times 2 = 30,7 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = (12,1 - 1,5 \times 2,57) \times 1,27 \times 2 = 20,9 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = (7,6 - 1,0 \times 2,57) \times 1,27 = 6,4 \text{ cm}^2$$

$$R_d = (0,6 \times 40 \times 20,9 + 40 \times 6,4)/1,35 = 561 \text{ kN} > \\ (0,6 \times 25 \times 30,7 + 40 \times 6,4)/1,35 = 530 \text{ kN}$$

$$R_d = 530 \text{ kN}$$

Comparando os resultados, verifica-se que o esforço resistente de cálculo da tração da emenda é determinado pela ruptura da seção líquida da chapa ($R_{dt} = 478$ kN), e que o projeto da emenda é satisfatório para os esforços solicitantes.

3.5.2 O tirante de uma treliça de telhado é constituído por duas cantoneiras de $63 \times 6,3$ mm ($2 \frac{1}{2}'' \times \frac{1}{4}''$) com ligação a uma chapa de nó da treliça com espessura de 6,3 mm, utilizando parafusos comuns $\phi 12,7$ mm (1/2"). Determinar o esforço normal resistente do tirante, desprezando o pequeno efeito da excentricidade introduzida pela ligação.

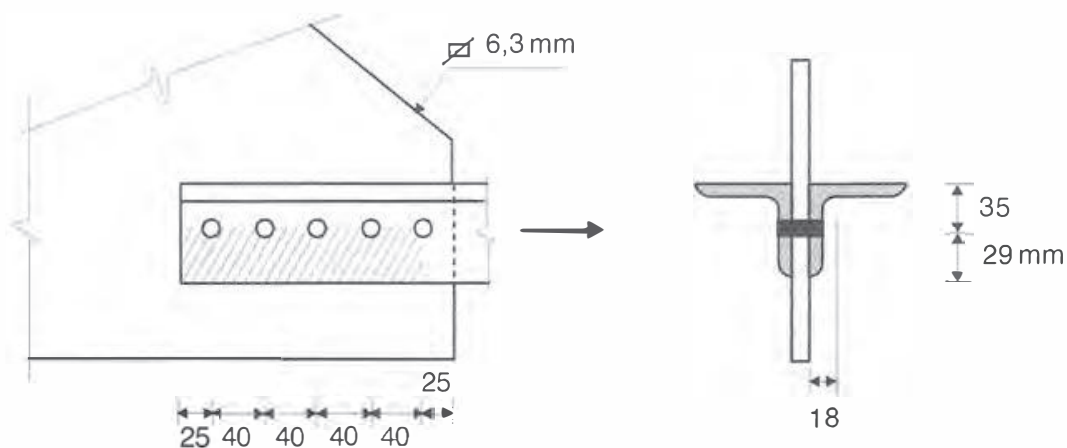


Fig. Probl. 3.5.2

Solução

O esforço resistente de projeto (R_{dt}) é o menor entre os valores encontrados nos casos seguintes:

- a) Corte duplo nos parafusos [Eq. (3.1)]

$$R_{dt} = 0,4 \times 1,27 \times 41,5 \times 2 \times 5/1,35 = 156 \text{ kN}$$

- b) Pressão de apoio e rasgamento da chapa de nó

Parafusos extremo: $a = 25 - 7,1 = 17,9 \text{ mm} < 2d = 25,4 \text{ mm}$

$$R_{dt} = 1,2 \times 1,8 \times 0,63 \times 40/1,35 = 40,3 \text{ kN}$$

Parafusos internos: $a = 40 - 14,2 = 25,8 \text{ mm} > 2d$

$$R_{dt} = 2,4 \times 1,27 \times 0,63 \times 40/1,35 = 56,9 \text{ kN}$$

Resistência de ligação

$$R_{dt} = 40,3 + 4 \times 56,9 = 267,9 \text{ kN}$$

- c) Tração nos perfis

Como o esforço de tração é transmitido apenas por uma aba do perfil, calcula-se a seção líquida efetiva de acordo com o Item 2.2.6.

Diâmetro dos furos a deduzir = $12,7 + 3,5 = 16,2 \text{ mm}$

$$A_{n,ef} = 2(7,68 - 0,63 \times 1,62) \times \left(1 - \frac{18}{160}\right) = 11,82 \text{ cm}^2$$

Ruptura da seção líquida

$$R_{dt} = 11,82 \times 40/1,35 = 350 \text{ kN}$$

Escoamento da seção bruta

$$R_{dt} = 15,3 \times 25/1,10 = 349 \text{ kN}$$

- d) Colapso por cisalhamento de bloco (Item 2.2.7)

Os perfis ($t_0 = 6,3 \text{ mm}$) podem ainda sofrer colapso por cisalhamento de bloco, conforme ilustrado na Fig. 2.8.

Utiliza-se a Eq. (2.8):

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= (4 \times 4 + 2,5 \times 0,63 \times 2 = 23,3 \text{ cm}^2 \\
 A_{nv} &= (4 \times 4 + 2,5 - 4,5 \times 1,6) 0,63 \times 2 = 14,2 \text{ cm}^2 \\
 A_{nt} &= (2,9 - 0,6) \times 0,63 \times 2 = 2,90 \text{ cm}^2 \\
 R_{dt} &= (14,2 \times 0,6 \times 40 + 2,9 \times 40/1,35) = 338 \text{ kN} < (0,60 \times 25 \times 23,3 + \\
 &\quad 2,9 \times 40)/1,35 = 345 \text{ kN} \\
 R_{dt} &= 338 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Comparando-se os resultados, verifica-se que o esforço resistente de projeto é determinado pelo corte dos parafusos ($R_{dt} = 156 \text{ kN}$).

3.5.3 Dimensionar uma ligação aparafusada entre um perfil U e uma chapa, para suportar uma sollicitação de tração de projeto igual a 640 kN. Verificar a dimensão do perfil que satisfaz o problema. Aço ASTM A36, parafusos de alta resistência ASTM A325 em ligação do tipo apoio.

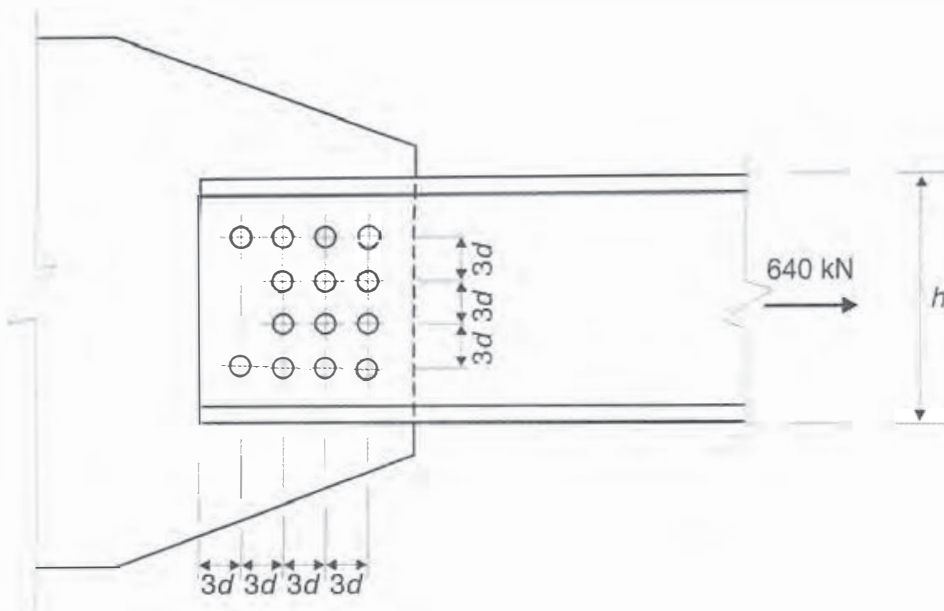


Fig. Probl. 3.5.3

Solução

Inicialmente determina-se o número de parafusos necessários. Supondo parafusos $d = 16 \text{ mm}$ ($5/8''$), a resistência ao corte de um parafuso vale:

$$R_{mv}/\gamma_{a2} = 0,4 \times 1,98 \times 82,5/1,35 = 48,4 \text{ kN}$$

Número de parafusos necessários

$$n = \frac{640}{48,4} = 13,2$$

Podem-se utilizar 14 parafusos, com a posição indicada na figura.

No caso de perfis laminados, a distância do centro do furo à borda obedece a gabaritos padronizados. Para perfis U 250 (10'') e U 306 (12''), essa distância vale 6,4 cm. A altura necessária do perfil U pode ser estimada em

$$2 \times 6,4 + 3 \times 4,8 = 27,2 \text{ cm (usar } h = 306 \text{ mm} = 12'')$$

Admitindo-se inicialmente o perfil U 306 (12") \times 30,7 kg/m, verifica-se se ele satisfaz.

$$A_n = 39,1 - 4(1,6 + 0,35) \times 0,71 = 33,56 \text{ cm}^2$$

Ruptura da seção líquida efetiva do perfil ($A_{n,ef}$)

$$R_d = A_{n,ef} f_u / 1,35 = (1 - 1,77/14,4) \times 33,56 \times 40 / 1,35 = 872 \text{ kN} > 640 \text{ kN}$$

Escoamento da seção bruta

$$R_d = A_g f_y / 1,10 = 39,1 \times 25 / 1,10 = 889 \text{ kN} > 640 \text{ kN}$$

É ainda necessário verificar a resistência da chapa da alma a apoio e rasgamento, com as Eqs. (3.2a) e (3.2b). Como no caso em estudo foi tomado $s = 3d$, ou seja, $a = 2,0d$, as duas equações fornecem o mesmo resultado:

$$R_d = 2,4 \times 1,6 \times 0,71 \times 40 \times 14 / 1,35 = 1131 \text{ kN} > 640 \text{ kN}$$

O perfil está sujeito a cisalhamento de bloco na ligação. Com os espaçamentos entre parafusos da Fig. Probl. 3.5.3 tem-se Eq. (2.8)

$$A_{nt} = (3 \times 3 \times 1,6 - 3 \times 1,95) \times 0,71 = 6,1 \text{ cm}^2$$

$$A_{gv} = 12 \times 1,6 \times 0,71 \times 2 = 27,3 \text{ cm}^2$$

$$A_{vn} = 27,3 - 2 \times 3,5 \times 1,95 \times 0,71 = 17,6 \text{ cm}^2$$

$$R_{dt} = (0,6 \times 40 \times 17,6 + 40 \times 6,1) / 1,35 = 493 \text{ kN} < (682 + 244) / 1,35 = 686 \text{ kN}$$

A resistência ao cisalhamento de bloco (493 kN) é menor que a solicitação de projeto. Aumentando-se o espaçamento entre os parafusos na direção da força para $4d$, o problema fica resolvido.

O perfil U 306 (12") \times 30,7 kg/m satisfaz.

Espessura mínima necessária da chapa gusset para atender às tensões de apoio e rasgamento entre furos.

$$t > \frac{640}{2,4 \times 1,6 \times 40 \times 14 / 1,35} = 0,40 \text{ cm}$$

Por razões construtivas, a chapa gusset é tomada com espessura de 6 a 10 mm. Para garantir a segurança contra ruptura por cisalhamento de bloco, sua espessura deve ser maior que a da alma do perfil ($t > 7 \text{ mm}$).

3.5.4 Dimensionar a ligação aparafusada do Probl. 3.5.3, agora para uma ligação do tipo atrito.

Solução

A ligação denominada tipo atrito é aquela em que não se permite deslizamento entre as peças para cargas em serviço (caso de furos-padrão). O dimensionamento no estado limite último está feito no Probl. 3.5.3. É necessário, adicionalmente, verificar a resistência ao deslizamento para tração igual a 640 kN/1,4, 457 kN (estado limite de utilização).

Força de protensão mínima no parafuso (Tabela A5.2a, Anexo A).

$$P = 85 \text{ kN}$$

Coefficiente de atrito para superfície laminada, limpa, sem pintura

$$\mu = 0,35$$

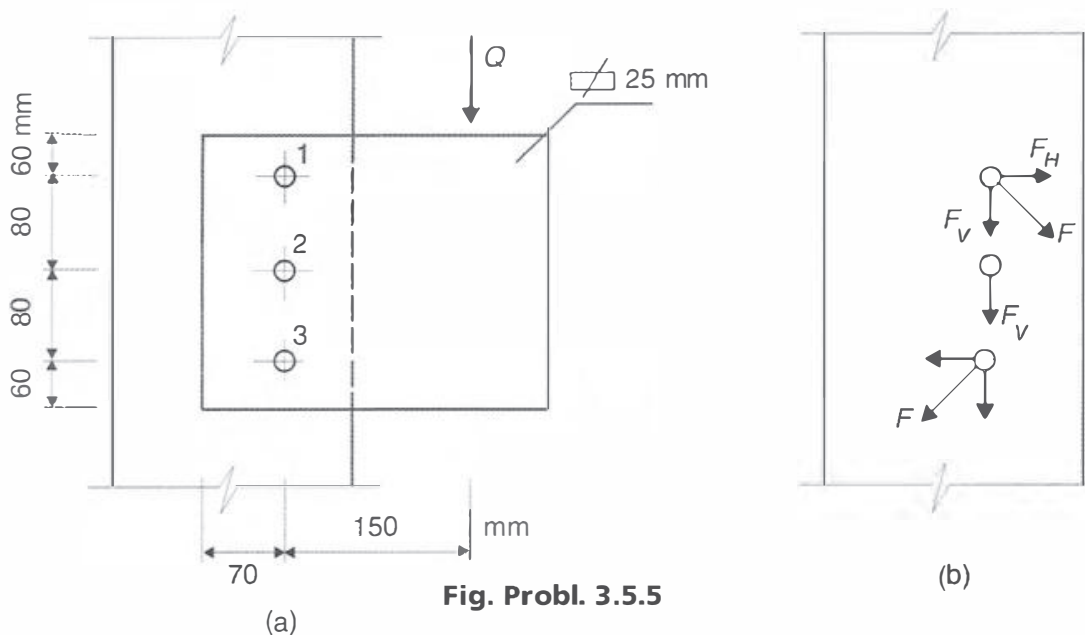
Resistência ao deslizamento Eq. (3.6)

$$R_v = 14 \times 0,80 \times 0,35 \times 1 \times 85 = 333 \text{ kN} < 457 \text{ kN}$$

Verifica-se que a resistência ao deslizamento para cargas de serviço é determinante no dimensionamento; seriam necessários

$$n = \frac{457}{0,80 \times 0,35 \times 85} = 20 \text{ parafusos}$$

3.5.5 Calcular a carga de projeto na ligação da figura, sendo os conectores parafusos ASTM A307, de diâmetro igual a 19 mm (3/4").



Solução

Os parafusos 1 e 3 serão os mais solicitados, pois, além do esforço vertical, deverão absorver um esforço horizontal que resistirá ao momento produzido pela carga Q .

a) Cálculo do esforço resultante nos parafusos, em serviço

Tomando o parafuso mais desfavorável, número 1, temos:

Componente vertical F_v

$$F_v = \frac{Q}{3}$$

Componente horizontal F_h

$$F_h \times 1,6 = Q \times 1,5 \quad F_h = \frac{1,5}{1,6} Q$$

Esforço resultante F vale

$$F = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{\left(\frac{Q}{3}\right)^2 + \left(\frac{1,5}{1,6}Q\right)^2} = 0,99 Q$$

b) Carga de projeto

A carga de projeto da ligação é obtida igualando-se a sollicitação de projeto do parafuso mais sollicitado, com a resistência de projeto a corte do mesmo.

$$\gamma Q \times 0,99 = 2,85 \times 0,4 \times 41,5/1,35 = 35,0 \text{ kN}$$

$$\gamma Q = 35,4 \text{ kN}$$

c) Verificação da pressão de apoio e rasgamento

$$R_d = 2,4 \times 1,9 \times 2,5 \times 40/1,35 = 338 \text{ kN} \gg 35,0 \text{ kN}$$

3.5.6 Deseja-se projetar a ligação de um consolo metálico com uma coluna, utilizando parafusos de alta resistência ASTM A325. Determinar o diâmetro necessário dos parafusos para absorverem uma carga de 30 kN em serviço (oriunda de carregamento permanente), com uma excentricidade de 200 mm, relativa ao eixo da coluna.

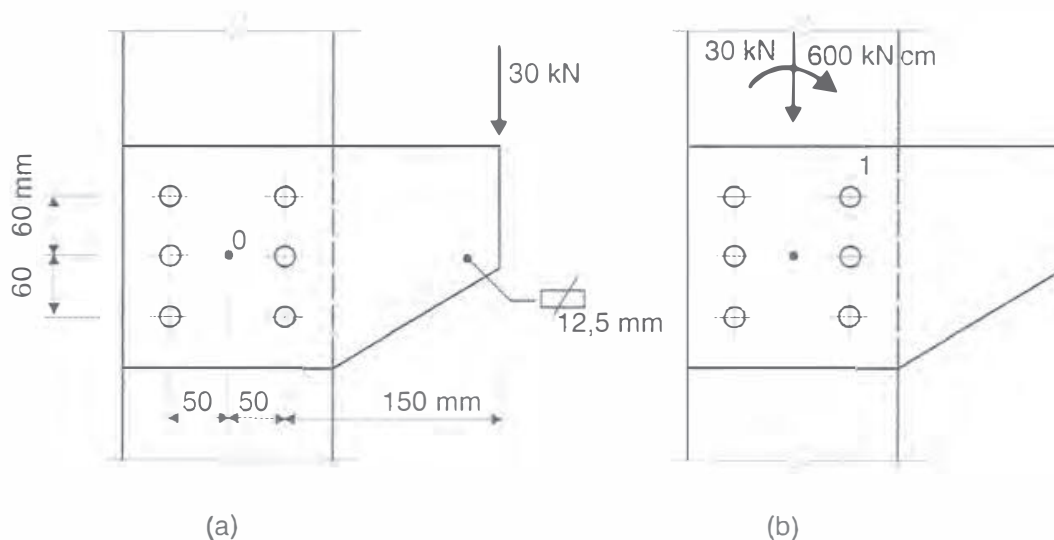


Fig. Probl. 3.5.6

Solução

Este problema pode ser resolvido por superposição de efeitos. Transportando a carga aplicada para o centro de gravidade dos parafusos (ponto 0), aparece um momento devido à excentricidade da carga em relação a esse ponto.

Analisaremos separadamente o efeito da força vertical e do momento, admitindo que todos os conectores têm a mesma área.

a) Força vertical

A força vertical se transmite igualmente para os conectores. Cada conector recebe uma carga igual a:

$$\frac{Q}{n} = \frac{30}{6} = 5,0 \text{ kN}$$

b) Momento fletor

Para o cálculo da força atuante nos conectores devida ao momento, considera-se a placa como um disco rígido ligado a conectores elásticos, conforme indicado no Item 3.4.2.

Para dimensionamento, basta calcular o esforço no conector 1 que é o mais solicitado.

$$\Sigma r^2 = 6 \times 5,0^2 + 4 \times 6,0^2 = 294 \text{ cm}^2$$

$$M = 30 \times 20 = 600 \text{ kNcm}$$

$$F_x = \frac{6,0}{294} \times 600 = 12,2 \text{ kN}$$

$$F_y = \frac{5,0}{294} \times 600 = 10,2 \text{ kN}$$

c) Dimensionamento dos parafusos

O esforço total de corte no parafuso mais desfavorável será:

$$1,3 \sqrt{(5,0 + 10,2)^2 + 12,2^2} = 25,3 \text{ kN}$$

Determinação da área necessária do parafuso

$$0,4 A_g 82,5/1,35 = 25,3 \text{ kN}$$

$$A_g = 1,04 \text{ cm}^2$$

Podem-se usar parafusos $d = 12,7 \text{ mm}$ ($1/2''$), ASTM A325.

Como o afastamento entre os parafusos é superior a $3d$, basta verificar a pressão de apoio na chapa de 12 mm de espessura.

$$R_d = 2,4 dt f_u/1,35 = 2,4 \times 1,27 \times 1,2 \times 40/1,35 = 108 \text{ kN} > 25,3 \text{ kN}$$

3.5.7 Verificar as tensões nos conectores do consolo das figuras *a* e *b*, usando parafusos ASTM A307. Usar o estado limite de projeto, com o coeficiente de majoração das ações $\gamma = 1,4$.

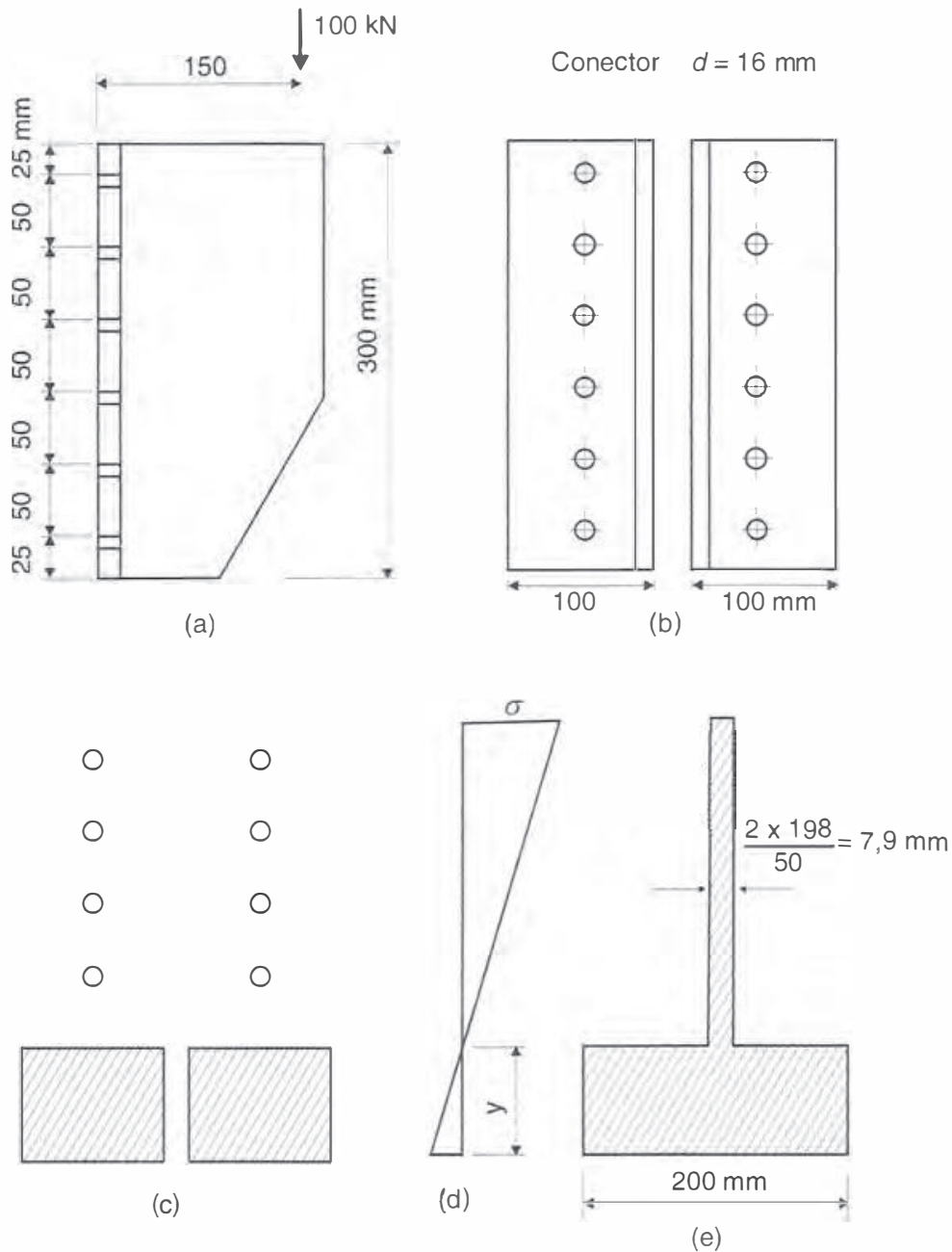


Fig. Probl. 3.5.7

Solução

Sob a ação do momento fletor, os parafusos superiores são tracionados e a resultante de compressão é transferida por contato.

Na zona comprimida podemos considerar as cantoneiras apoiadas na coluna (Fig. Probl. 3.5.7c). Na Fig. Probl. 3.5.7d vemos o diagrama de tensões que se supõe linear.

Para facilitar o cálculo, podemos transformar a Fig. Probl. 3.5.7c na Fig. Probl. 3.5.7e.

Para a determinação da posição da linha neutra, basta fazer a igualdade dos momentos estáticos das duas áreas da Fig. Probl. 3.5.7e.

$$20 \times \frac{y^2}{2} = 0,79 \frac{(30 - y)^2}{2}$$

Resolvendo a equação, obtemos $y = 5$ cm.

O momento de inércia da seção (e) vale

$$\frac{0,79 \times 25^3}{3} + \frac{20 \times 5^3}{3} = 4950 \text{ cm}^4$$

A tensão de tração em serviço no parafuso superior vale

$$f_t = \frac{M}{I} y = \frac{1500}{4950} (27,5 - 5,0) = 6,82 \text{ kN/cm}^2$$

A tensão de corte em serviço nos parafusos vale

$$\tau = \frac{100}{12 \times 1,98} = 4,21 \text{ kN/cm}^2$$

Tensão resistente de projeto ao corte de um parafuso $d = 16$ mm (5/8")

$$0,4 \times 41,5/1,35 = 12,3 \text{ kN/cm}^2$$

Tensão resistente do projeto à tração de um parafuso

$$0,75 \times 41,5/1,35 = 23,0 \text{ kN/cm}^2$$

Interação corte e tração no parafuso superior

$$\left(\frac{1,4 \times 4,21}{12,3} \right)^2 + \left(\frac{1,4 \times 6,82}{23,0} \right)^2 = 0,40 < 1,0$$

Concluimos que os parafusos ASTM A307 $d = 16$ mm (5/8") satisfazem os critérios de segurança.

3.5.8 Na ligação do problema anterior, substituem-se os parafusos comuns por parafusos de alta resistência A325, em ligação tipo atrito. As verificações em estado limite último devem ser efetuadas como no Problema 3.5.7. Verificar a resistência ao deslizamento em estado limite de utilização.

Solução

Admitindo-se que não há deslocamento entre as peças ligadas, o cálculo pode ser feito com seção homogênea igual à área de apoio das cantoneiras, $200 \times 300 \text{ mm}^2$.

Tensão de tração no topo da chapa

$$f_t = \frac{6 \times 1500}{20 \times 30^2} = 0,50 \text{ kN/cm}^2 < f_{co} = \frac{12 \times 85}{20 \times 30} = 1,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Força solicitante à tração devida ao momento na região do parafuso superior

$$T \cong (10 \times 5) \times 0,5 = 25 \text{ kN}$$

A força T atua no sentido de descomprimir as peças ligadas. Como não há separação entre as peças ($f_i < f_{co}$), o acréscimo de força de tração no parafuso em relação à protensão inicial é pequeno (ver Item 3.4.3). Por outro lado, a resistência ao deslizamento é reduzida com a descompressão.

Esforço resistente ao deslizamento do parafuso superior $d = 16 \text{ mm}$ (5/8") no estado limite de utilização

$$R_v = 0,80 \times 0,35 \times 85 \left(1 - \frac{25}{68}\right) = 15,0 \text{ kN}$$

Força solicitante de corte

$$V = \frac{100}{12} = 8,3 \text{ kN}$$

Comparação de resultado

$$8,3 < 15,0 \text{ kN}$$

3.6 | PROBLEMAS PROPOSTOS

3.6.1 Como funcionam as ligações a corte do tipo apoio e do tipo atrito?

3.6.2 Em que condições podem ser usados parafusos em furos alargados?

3.6.3 Quais os modos de colapso que devem ser verificados em uma ligação a corte com conectores?

3.6.4 Em que condições é válida a hipótese de distribuição uniforme de esforços em parafusos de uma ligação axial por corte?

3.6.5 Uma barra atirantada de uma treliça, sujeita a uma carga de 720 kN em serviço, é constituída por dois perfis U 250 (10") \times 29,8 kg/m, prendendo-se uma chapa gusset de

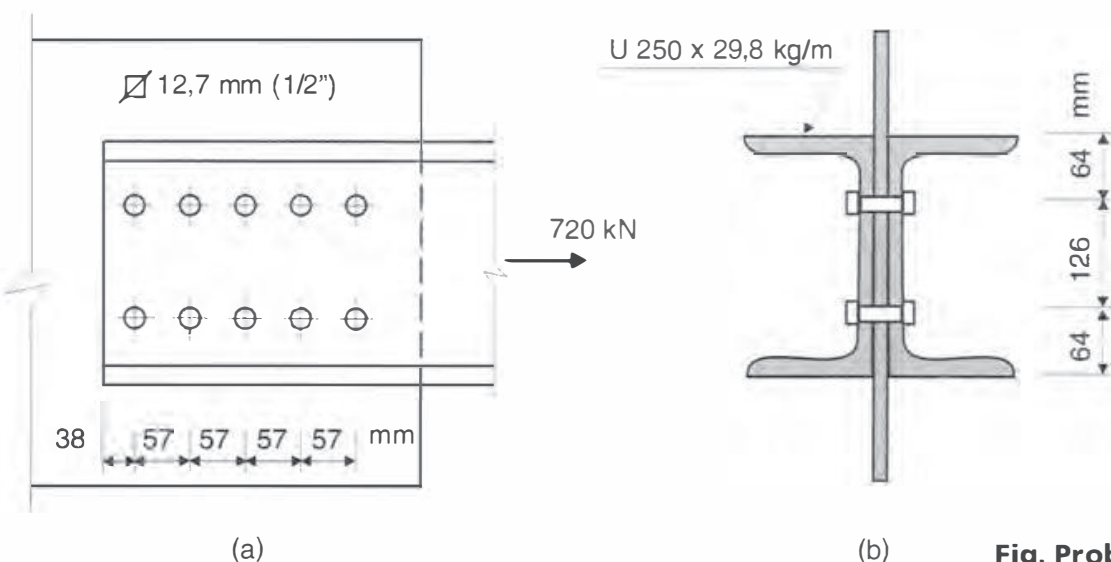


Fig. Probl. 3.6.5

12,7 mm (1/2") por meio de parafusos A307 $d = 3/4"$. Verificar a segurança da ligação no estado limite de projeto, com o coeficiente $\gamma = 1,30$ (carga permanente de pequena variabilidade). Aço ASTM A36.

3.6.6 Determinar o número mínimo de parafusos A325, de diâmetro igual a 22 mm (7/8"), necessários para a ligação a tração da figura. Admitir que as chapas dos flanges são bastante rígidas.

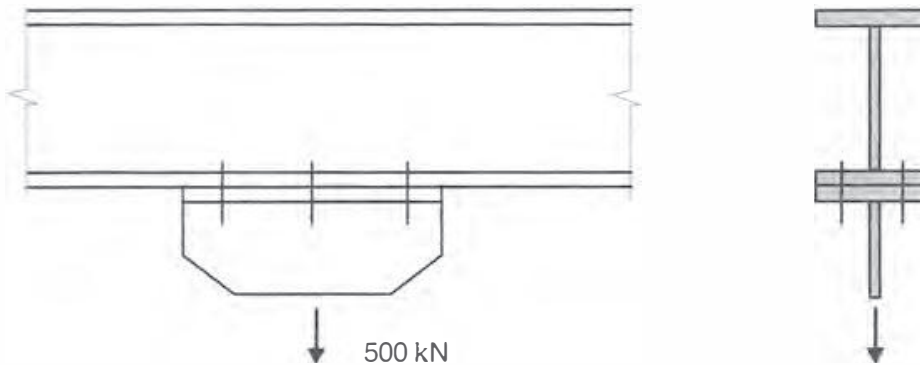


Fig. Probl. 3.6.6

3.6.7 Uma chapa de ligação recebe uma carga inclinada de 120 kN. Os conectores são parafusos A325 em ligação por atrito, diâmetro $d = 12,7$ mm (1/2"), com espaçamentos padronizados, mostrados na figura. Calcular o número de parafusos necessários por fila vertical. Determinar a espessura mínima de chapa para que a pressão de apoio não seja determinante.

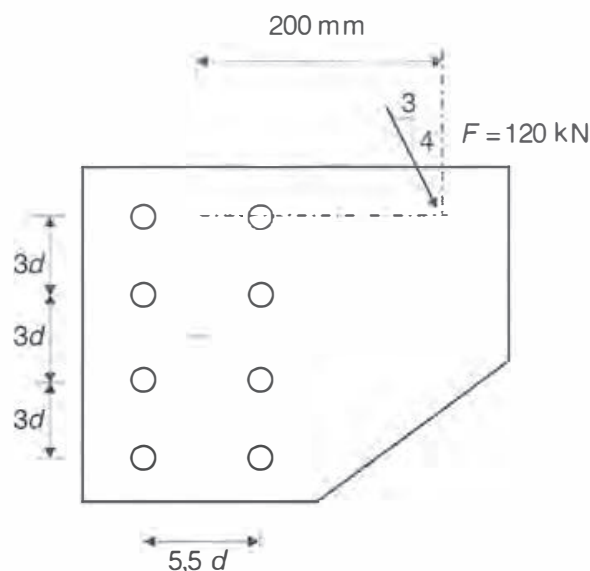


Fig. Probl. 3.6.7