

## Ligações Metálicas

As ligações metálicas consistem em elementos de ligação, como enrijecedores, chapas de ligação, cantoneiras e consolos, e meios de ligação, como soldas, parafusos, barras redondas rosqueadas e pinos. A figura 8.1 ilustra alguns tipos de ligação.

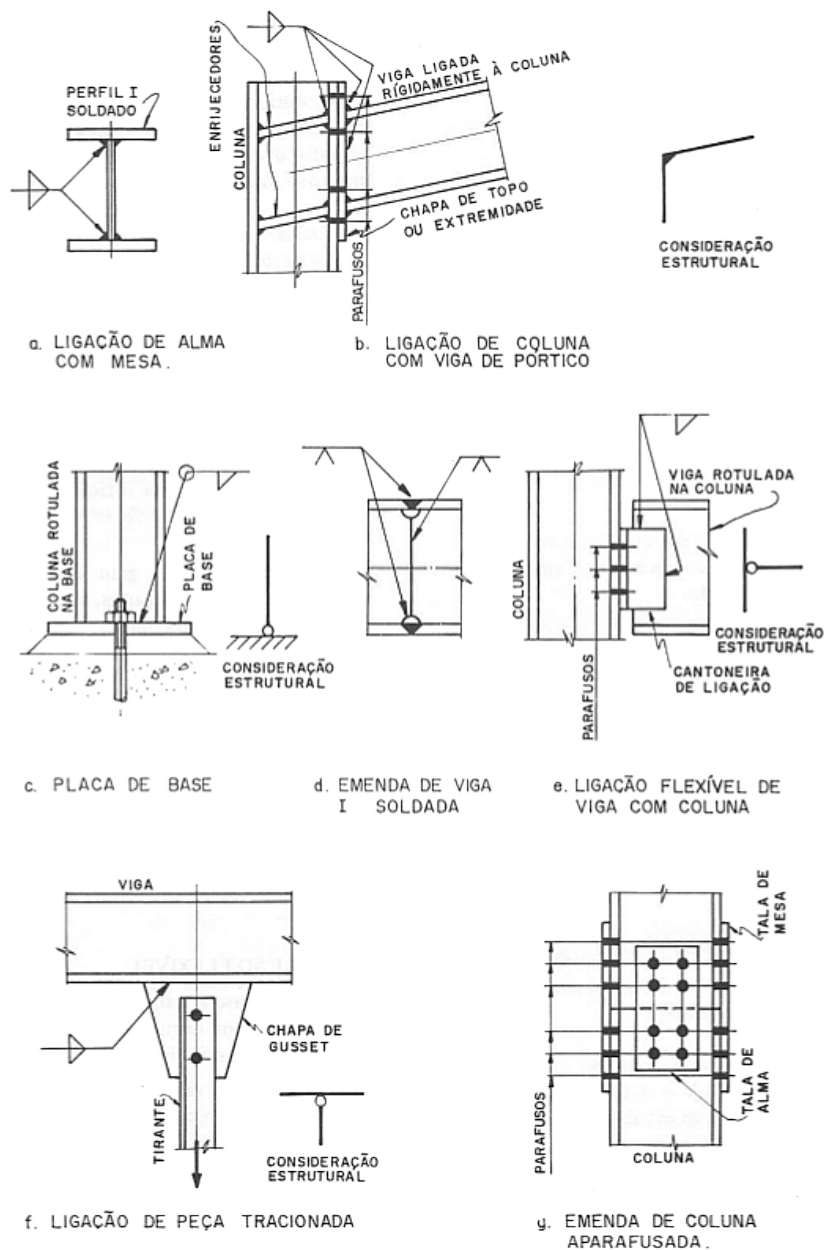


Figura 8.1: Alguns tipos de ligações.

Existe uma grande diversidade nos tipos de ligações utilizadas em estruturas metálicas. Na figura 8.1 estão ilustradas as seguintes ligações:

- a) Solda de composição de perfil;
- b) Ligação rígida de viga de pórtico com coluna;
- c) Base rotulada de coluna;
- d) Emenda de perfil I soldado;
- e) Ligação flexível de viga com coluna;
- f) Ligação de peça tracionada;
- g) Emenda de coluna com talas;

As ligações são compostas pelos meios de ligação e pelos elementos de ligação:

- Os meios de ligação são os dispositivos que executam a união entre as partes da estrutura. Os meios de ligação que abortados nestas notas de aula são as soldas e os parafusos;
- Os elementos de ligação são os componentes incluídos na ligação para permitir ou facilitar a transmissão dos esforços.

Na figura 8.1 pode-se identificar vários destes elementos de ligação, além das partes das peças ligadas envolvidas localmente na ligação, como por exemplo, mesa da coluna e alma da coluna na ligação b). São eles:

- a) Sem elemento de ligação;
- b) Enrijecedores e chapa de topo;
- c) Placa de base;
- d) Sem elemento de ligação;
- e) Cantoneiras;
- f) Chapa de nó ou Gusset;
- g) Tala de alma e mesa;

O dimensionamento de uma estrutura metálica envolve não só a determinação das do perfil das barras, mas também a verificação de suas ligações. A concepção de uma ligação deve atender não só a critérios de resistência mas também a critérios de rigidez, sob pena de não se comportar em termos de deslocamentos e rotações, conforme previsto no modelo estrutural.

O cálculo de uma ligação compreende a verificação de todos os seus componentes: meios de ligação e componentes de ligação.

## 8.1 Requisitos e definições

Os componentes devem ser dimensionados de forma que sua resistência de cálculo a um determinado estado limite último seja igual ou superior à solicitação de cálculo, determinada:

- a) Pela análise da estrutura sujeita às combinações de cálculo das ações;
- b) Como uma porcentagem específica da resistência da barra ligada.

Em algumas situações específicas, o dimensionamento pode também ter como base um estado limite de serviço.

### 8.1.1 Rigidez das ligações

As ligações podem ser classificadas conforme seu comportamento estrutural, os esforços a que é submetida ou o elemento de ligação entre as peças. Iniciando pelo comportamento estrutural, pode-se classificar as ligações em:

- a) Rígida: Quando sua rigidez é suficiente para manter o ângulo entre as peças ligadas praticamente constante;
- b) Flexível: Quando permite rotação entre os elementos conectados;

c) Semirrígida: Tem um comportamento intermediário.

Os comportamentos apresentados acima são teóricos e não existe um comportamento perfeitamente rígido ou flexível.

Os limites que definem uma ligação como rígida, flexível ou semirrígida são prescritos pela NBR 8800 e dependem da rigidez dos elementos conectados e da ligação.

Uma ligação viga-pilar pode ser considerada rotulada se:

$$S_i \leq \frac{0,5EI_v}{L_v} \quad (8.1)$$

e pode ser considerada rígida se:

$$S_i \geq \frac{25EI_v}{L_v} \quad (8.2)$$

nas quais:

$S_i$  é a rigidez da ligação, correspondente a 2/3 do momento resistente de cálculo da ligação, simplificada-mente denominada rigidez inicial;

$I_v$  o momento de inércia da seção transversal no plano da estrutura;

$L_v$  o comprimento da viga conectada à ligação.

A rigidez  $S_i$  pode ser determinada, na ausência de Norma Brasileira aplicável, de acordo com o Eurocode 3 Part 1-8 ou com base em resultados experimentais.

Em qualquer caso, para análise elástica, a ligação pode ser considerada semirrígida, com a rigidez  $S_i$  constante durante todo o carregamento.

O limite para a consideração de ligação rígida, equação 8.2, pode ser usado somente para estruturas nas quais, em cada andar, é satisfeita a relação:

$$\frac{K_v}{K_p} \geq 0,1 \quad (8.3)$$

onde:

$K_v$  é o valor médio de  $\frac{I_v}{L_v}$  para todas as vigas no topo do andar;

$K_p$  é o valor médio de  $\frac{I_p}{L_p}$  para todos os pilares do andar, sendo:

$I_p$  é o momento de inércia de um pilar no plano da estrutura;

$L_p$  é a altura do pilar para um andar.

No caso da equação 8.2 verificar mas a equação 8.3 não, as ligações devem ser consideradas como semirrígidas.

De forma simplificada, as ligações usuais, tradicionalmente consideradas rotuladas ou rígidas, podem ser simuladas com esses tipos de vinculação na análise estrutural, a critério do responsável técnico pelo projeto.

Aproximadamente pode-se usar as relações momento resistente e rotação na extremidade para a determinação, de forma aproximada, do comportamento da ligação, de acordo com a 8.2.

Em ligações consideradas flexíveis, na análise estrutural não é usual considerar a capacidade parcial de restrição. Isto significa que nestas ligações são desprezados os momentos fletores introduzidos nas peças de apoio (colunas), a redução dos momentos positivos na região central das vigas, o aumento da resistência das colunas à flambagem e a redução dos deslocamentos da estrutura.

Nas ligações consideradas rígidas, ao contrário das ligações flexíveis, considera-se que o ângulo original entre as peças não se modifica com o carregamento. Desta forma são ignorados a redução do momento fletor introduzido nas peças de apoio, o aumento do momento positivo na região central das vigas, a redução da resistência das colunas à flambagem e o aumento dos deslocamentos da estrutura.

Para que se possa utilizar uma ligação semi-rígida é necessário conhecer a relação entre o momento resistente e a rotação da ligação. Devido à dificuldade para definir esta relação, as ligações semirrígidas são raramente utilizadas na prática e não serão abordadas.

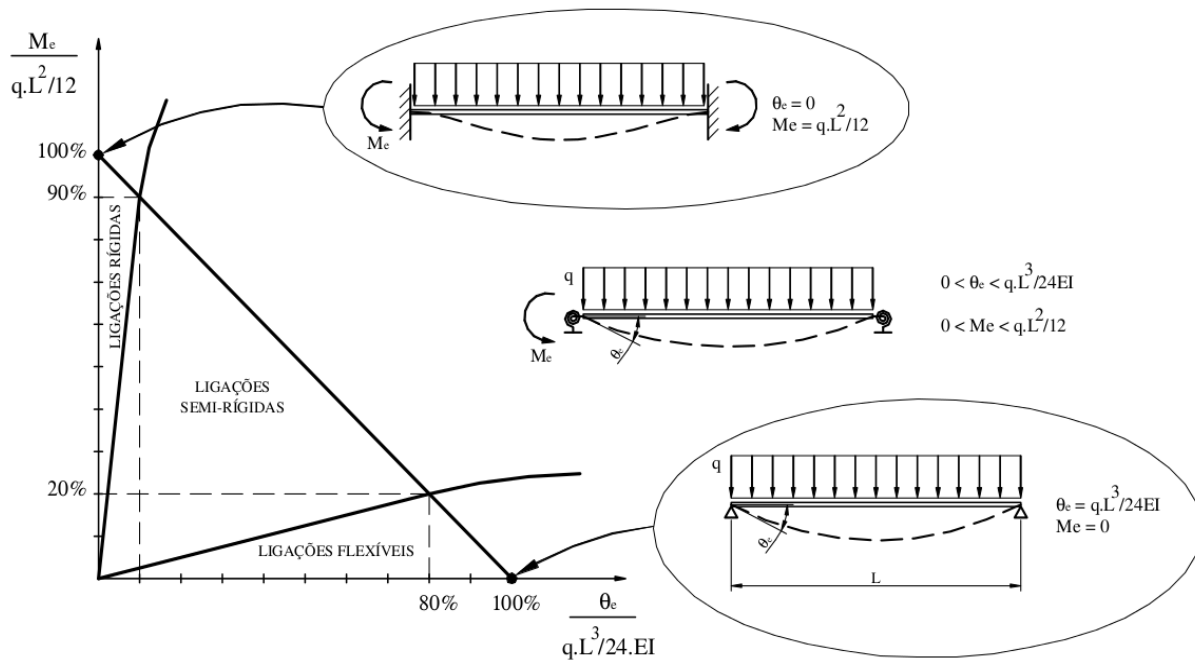


Figura 8.2: Diagrama Momento Resistente x Rotação de Extremidade

### 8.1.2 Meios de ligação

As ligações podem ser classificadas, em função dos meios de ligação, como soldadas e/ou parafusadas:

- Nas ligações parafusadas podem ocorrer esforços de tração e/ou cisalhamento;
- Nas ligações soldadas podem ocorrer tensões de tração, compressão e/ou cisalhamento.

A figura 8.3 ilustra esses esforços.

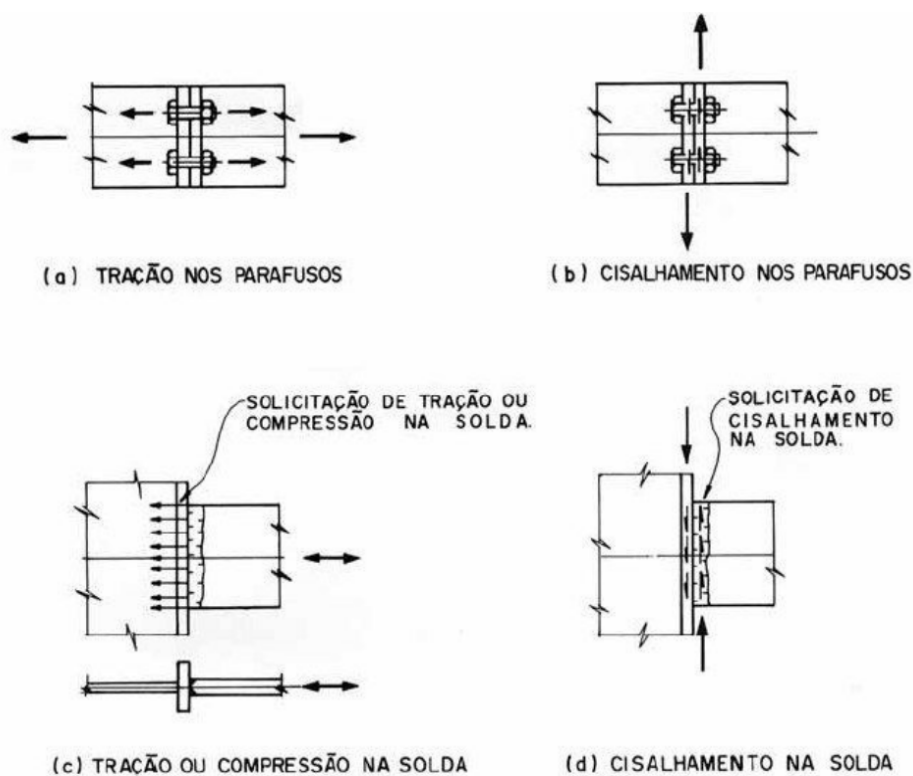


Figura 8.3: Esforços em parafusos e soldas.

A figura 8.3 ilustra os esforços quando ocorrem de maneira única na ligação. Em ligações mais complexas esses esforços podem ocorrer simultaneamente ou ainda estarem desalinhados com o centro geométrico da ligação gerando esforços adicionais.

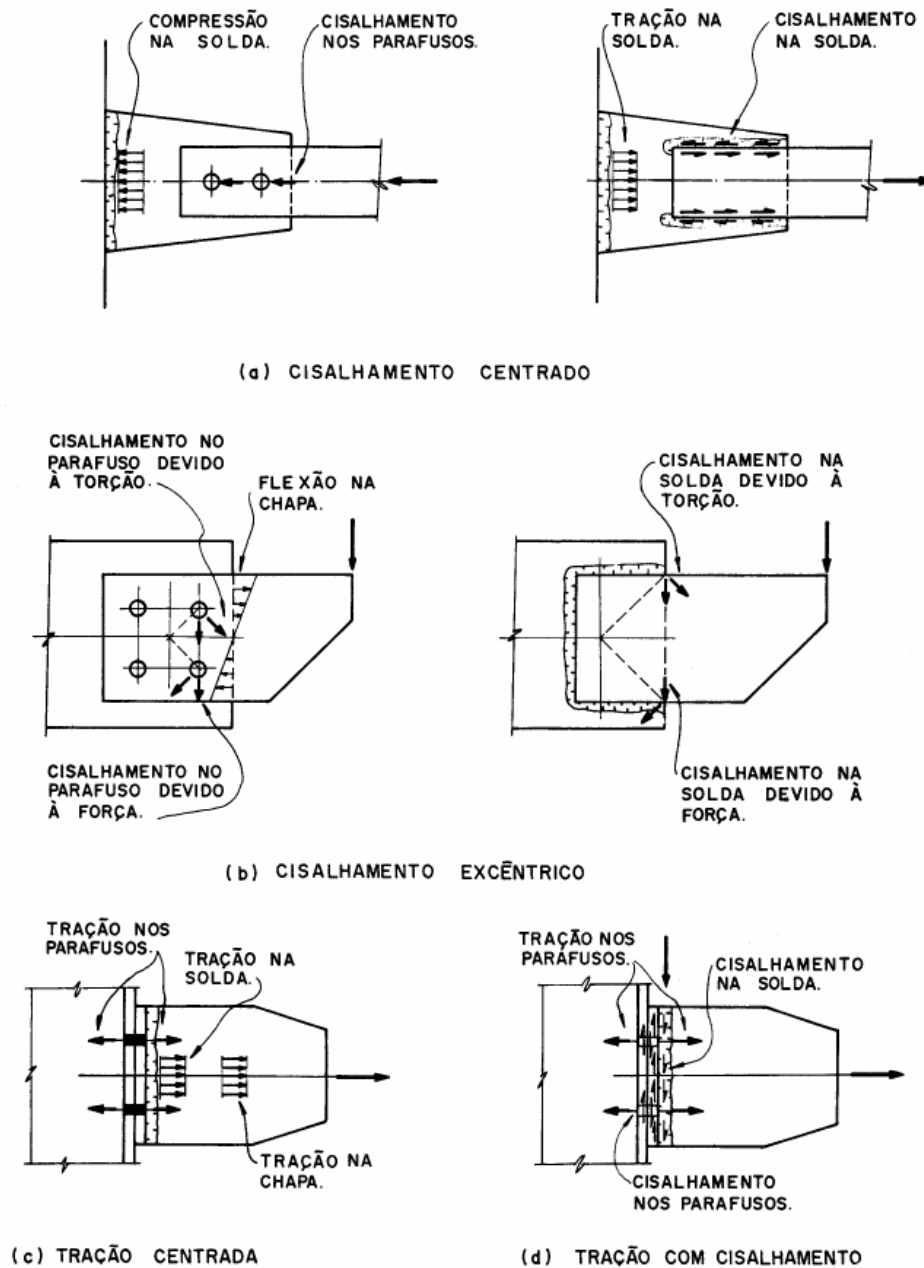


Figura 8.4: Esforços solicitantes na ligação.

De acordo com o tipo de esforços solicitantes e com a posição desses esforços em relação ao centro dos grupos de parafusos ou das linhas de solda resistentes, a ligação pode ser definida como:

- Cisalhamento centrado;
- Cisalhamento excêntrico;
- Tração ou compressão centrada;
- Tração ou compressão com cisalhamento centrados.

### 8.1.3 Local de Execução

De acordo com o local de execução, as ligações podem ser classificadas em:

**Ligações de campo:** são as ligações executadas na obra. Essas ligações podem ser emendas de peças muito longas para transportar ou ligações entre peças diferentes. Normalmente as ligações de campo são executadas com parafusos;

**Ligações de fábrica:** devido às melhores condições de trabalho, as ligações soldadas devem preferencialmente ser executadas na fábrica. Isso não significa que as ligações de fábricas devem ser soldadas: de acordo com o tipo de equipamentos disponíveis na fábrica pode ser mais interessante executar ligações parafusadas (fábricas mais automatizadas) ou soldadas (fábricas menos automatizadas).

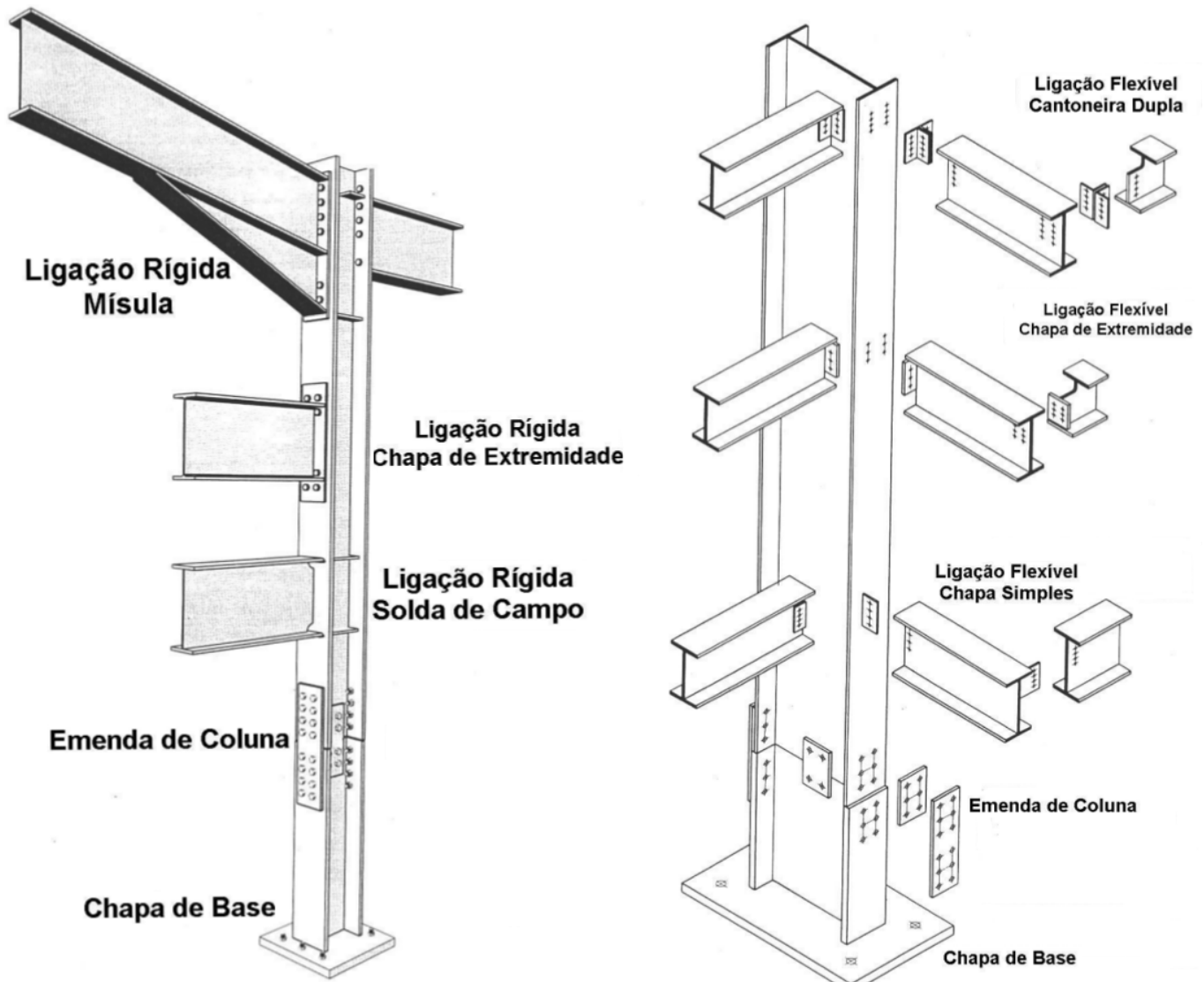


Figura 8.5: Ligações Metálicas.

#### 8.1.4 Resistência mínima de ligações

Ligações sujeitas a uma força solicitante de cálculo, em qualquer direção (tração/compressão ou cortante), inferior a 45 kN, excetuando-se diagonais e montantes de travejamento de barras compostas, tirantes constituídos de barras redondas, travessas de fechamento lateral e terças de cobertura de edifícios, devem ser dimensionadas para uma força solicitante de cálculo igual a 45 kN, com direção e sentido da força atuante.

$$F_{Sd} \geq 45kN = F_{Sd,min} \quad (8.4)$$

A NBR 8800 recomenda, a critério do responsável técnico pelo projeto, que as ligações de barras traçadas ou comprimidas sejam dimensionadas no mínimo para 50 % da força axial resistente de cálculo da barra, referente ao tipo de solicitação que comanda o dimensionamento da respectiva barra (tração ou compressão).

#### 8.1.5 Barras transmitindo esforços por contato

Em pilares cujas extremidades são usinadas, por exemplo, por corte com serra, para transmitir forças de compressão por contato, as ligações das extremidades com as placas de apoio, ou entre pilares, devem ser

feitas com parafusos ou soldas capazes de manter em suas posições, com segurança, todas as partes ligadas, e garantir a estabilidade estrutural.

Barras comprimidas que não sejam pilares, com extremidades usinadas, transmitindo esforços por contato, devem ter meios e elementos de ligação posicionados de modo a manter alinhadas todas as partes da ligação e dimensionados para resistir à condição menos severa entre as seguintes:

- a) Uma força axial de tração de 50 % da força axial de compressão resistente de cálculo da barra conectada;
- b) O momento fletor e a força cortante resultantes de uma força transversal igual a 2 % da força axial de compressão resistente de cálculo da barra conectada. Essa força transversal deve ser aplicada na posição da emenda, independentemente de outras forças atuantes. A barra deve ser considerada como birrotulada para determinação do momento fletor e da força cortante na emenda.

Em ambos os casos anteriores, as ligações citadas devem ser dimensionadas para resistir também a 100 % das solicitações de cálculo que não sejam transmitidas por contato, incluindo casos de inversão de esforços.

### 8.1.6 Disposição de soldas e parafusos

Grupos de parafusos ou soldas, situados nas extremidades de qualquer barra axialmente solicitada, devem ter seus centros geométricos sobre o eixo que passa pelo centro geométrico da seção da barra, a não ser que seja levado em conta o efeito de excentricidade.

Nos casos de cantoneiras simples ou duplas e barras semelhantes solicitadas axialmente, não é exigido que o centro geométrico de grupos de parafusos ou soldas de filete fique sobre o eixo baricêntrico da barra, nas suas extremidades, para os casos de barras não sujeitas à fadiga; a excentricidade entre os eixos da barra e das ligações pode ser desprezada em barras solicitadas estaticamente, mas deve ser levada em conta em barras sujeitas à fadiga.

### 8.1.7 Combinação de parafusos e soldas

Parafusos não podem ser considerados trabalhando em conjunto com soldas, exceto em ligações à cortante, nas quais parafusos instalados em furos-padrão, ou furos pouco alongados com a maior dimensão transversal à direção da força, podem ser considerados trabalhando em conjunto com filetes longitudinais de solda. No projeto dessas ligações, não deve ser considerada mais que 50 % da força resistente de cálculo do grupo de parafusos.

Ao se fazerem intervenções em que soldas sejam usadas em estruturas construídas, os rebites e os parafusos de alta resistência (devidamente apertados para atender às exigências das ligações por atrito) já existentes podem ser considerados para resistir às solicitações de cálculo devidas às cargas já atuantes. As solicitações devidas aos novos carregamentos devem ser resistidas pelas soldas de reforço que forem acrescentadas à ligação.

### 8.1.8 Limitações de uso para ligações soldadas e parafusadas

Devem ser usadas soldas ou parafusos de alta resistência com protensão inicial em ligações por contato ou por atrito nos seguintes casos:

- a) Emendas de pilares nas estruturas de andares múltiplos com mais de 40 m de altura;
- b) Ligações de vigas com pilares e com quaisquer outras vigas das quais depende o sistema de contraventamento, nas estruturas com mais de 40 m de altura;
- c) Ligações e emendas de treliças de cobertura, ligações de treliças com pilares, emendas de pilares, ligações de contraventamentos de pilares, ligações de mãos francesas ou mísulas usadas para reforço de pórticos e ligações de peças-suportes de pontes rolantes, nas estruturas com pontes rolantes de capacidade superior a 50 kN;
- d) Ligações de peças sujeitas a ações que produzam impactos ou tensões reversas.

Para os casos não citados as ligações podem ser feitas com parafusos de alta resistência sem protensão inicial ou com parafusos comuns.

### 8.1.9 Recortes de mesa de vigas para ligações e aberturas de acesso para soldagem

Todas as aberturas de acesso necessárias para facilitar a operação de soldagem devem ter uma altura de 1,5 vez a espessura do material no qual a abertura é feita, porém, não menor que 25 mm e não necessitando exceder 50 mm. As aberturas de acesso devem ser detalhadas de forma a proporcionar espaço para a chapa de espera.

Recortes de mesa de vigas para ligações e aberturas de acesso para soldagem devem ser livres de entalhes e cantos reentrantes.

No caso de perfis soldados com mesas ou alma de espessura superior a 50 mm e de perfis laminados com mesas de espessura superior a 44 mm, superfícies de recortes de vigas e aberturas de acesso para soldagem, obtidas por meio de corte a maçarico, devem ser esmerilhadas ao metal brilhante e inspecionadas por partículas magnéticas ou líquido penetrante antes da deposição de soldas de emenda. A região curva de transição de tais recortes e aberturas não precisa ser esmerilhada se for executada por meio de broca ou serra.

### 8.1.10 Fratura Lamelar

Devem ser evitadas, sempre que possíveis juntas soldadas onde a transmissão de tensões de tração, resultantes da retração da solda executada sob condições de restrição de deformação, se faça através de elemento plano em direção não paralela à sua face (por exemplo, em juntas em L ou em T). Se não puder ser evitado esse tipo de ligação, devem ser tomadas precauções para evitar a ocorrência de fratura lamelar.