

# **ESTRUTURAS METÁLICAS LIGAÇÕES - APOIOS**

**Prof. Alexandre Augusto Pescador Sardá**

# LIGAÇÕES



- Edificações

Ligações entre vigas;

Ligações entre viga e coluna;

Emenda de colunas;

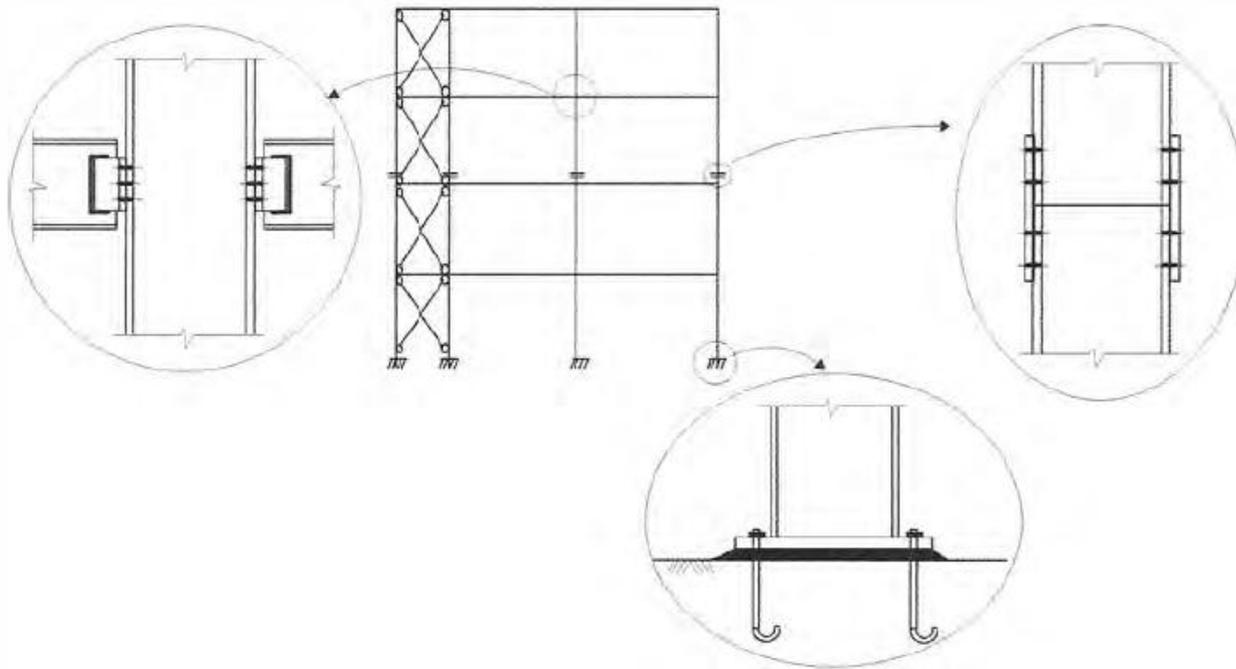
Emenda de vigas;

Apoio de colunas;

Ligações do contraventamento.

# LIGAÇÕES

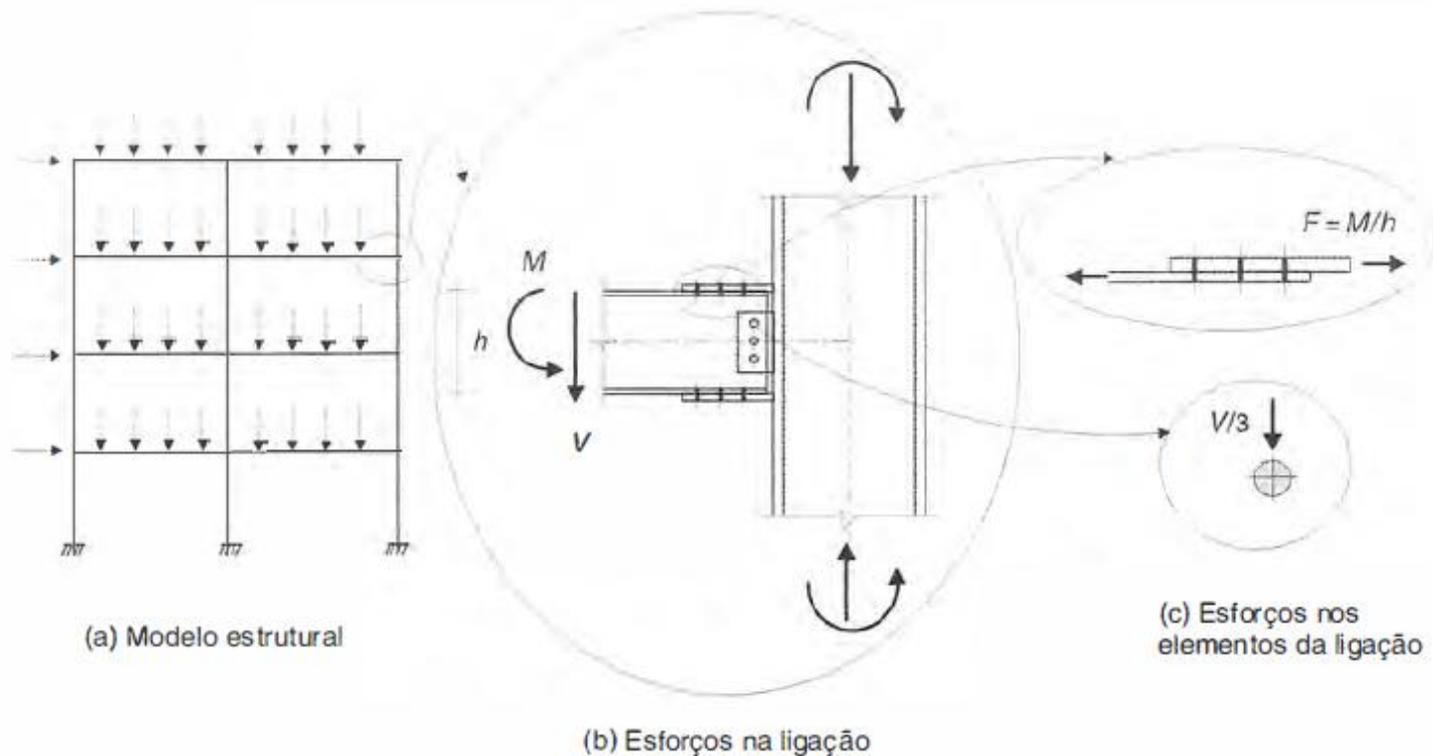
- No projeto de uma ligação determinam-se os esforços solicitantes nos seus elementos (parafusos, soldas), os quais devem ser menores que os respectivos esforços resistentes.



**Fig. 9.1** *Ligações em edificações.*

# LIGAÇÕES

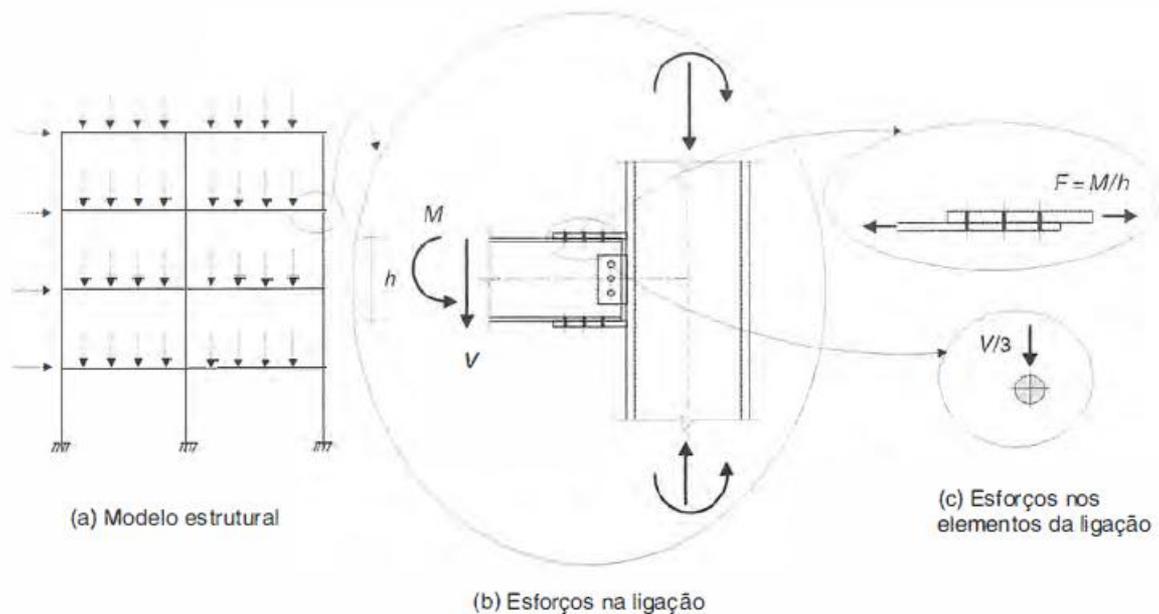
- A determinação dos esforços solicitantes na ligação é feita a partir da análise do modelo estrutural.



**Fig. 9.2** Etapas para determinação dos esforços solicitantes em uma ligação.

# LIGAÇÕES

- A rigidez de cada ligação adotada no modelo estrutural deve ser consistente com a rigidez oferecida pelo detalhe escolhido para aquela ligação.
- Em geral, as ligações são modeladas como perfeitamente rígidas ou como rótulas, podendo ter uma rigidez intermediária entre esses dois extremos.
- Conhecendo-se os esforços na ligação ( $M$  e  $V$ ), adota-se um modelo realista para determinar a distribuição de forças nos elementos da ligação.



**Fig. 9.2** Etapas para determinação dos esforços solicitantes em uma ligação.

# CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES

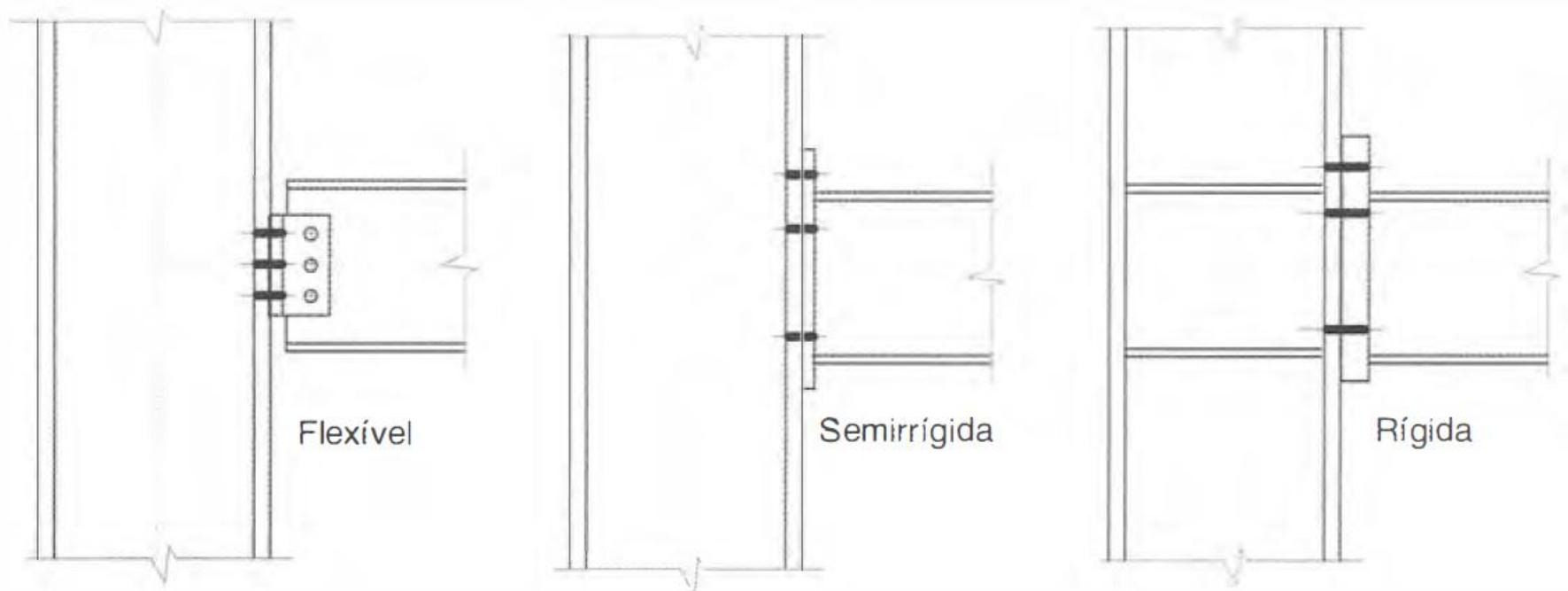
O critério para as ligações podem ser classificadas em três tipos, em relação a sua rigidez à rotação:

- a) Ligação rígida – tem rigidez suficiente para manter praticamente constante o ângulo entre as peças (rotação relativa quase nula) para qualquer nível de carga, até atingir o momento resistente de ligação.
- b) Ligação flexível - permite a rotação relativa entre as peças com um comportamento próximo ao de uma rótula, transmitindo um pequeno momento fletor.
- c) Ligação semirrígida – possui comportamento intermediário entre (a) e (b).

As ligações perfeitamente rígidas são casos ideais, dificilmente encontrados na prática.

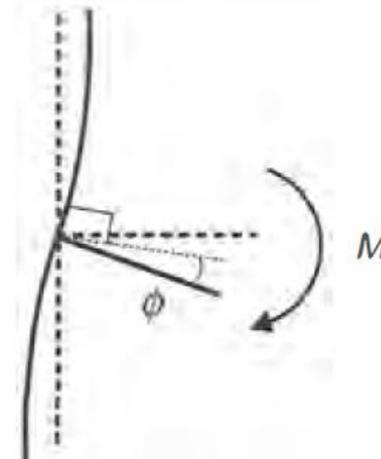
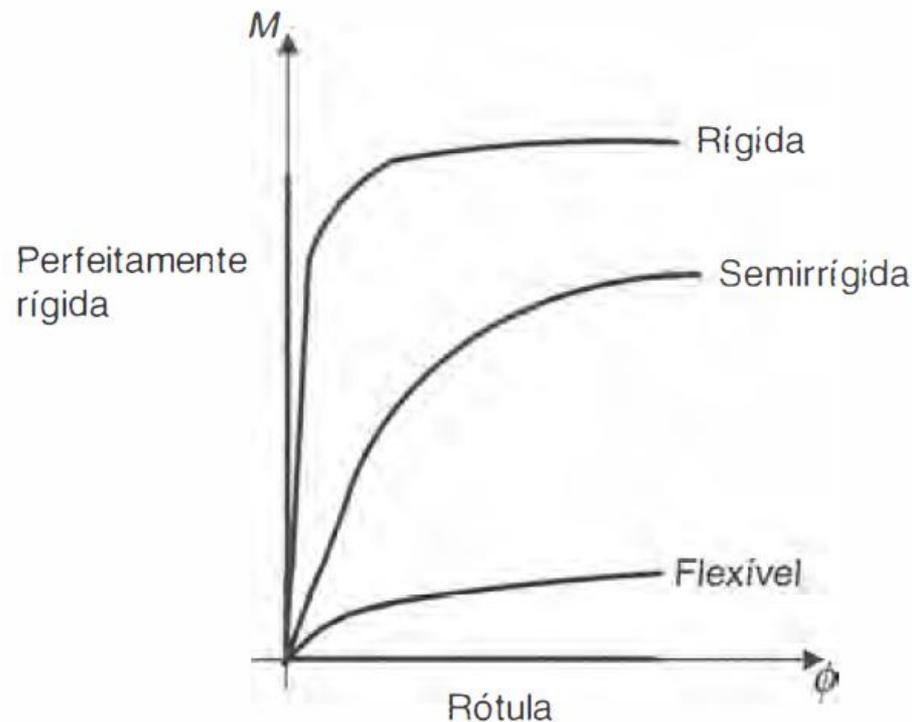
# EMENDAS DE COLUNAS

O critério para o projeto de emendas de colunas depende do acabamento da superfície de contato entre elas.



# EMENDAS DE COLUNAS

O critério para o projeto de emendas de colunas depende do acabamento da superfície de contato entre elas.



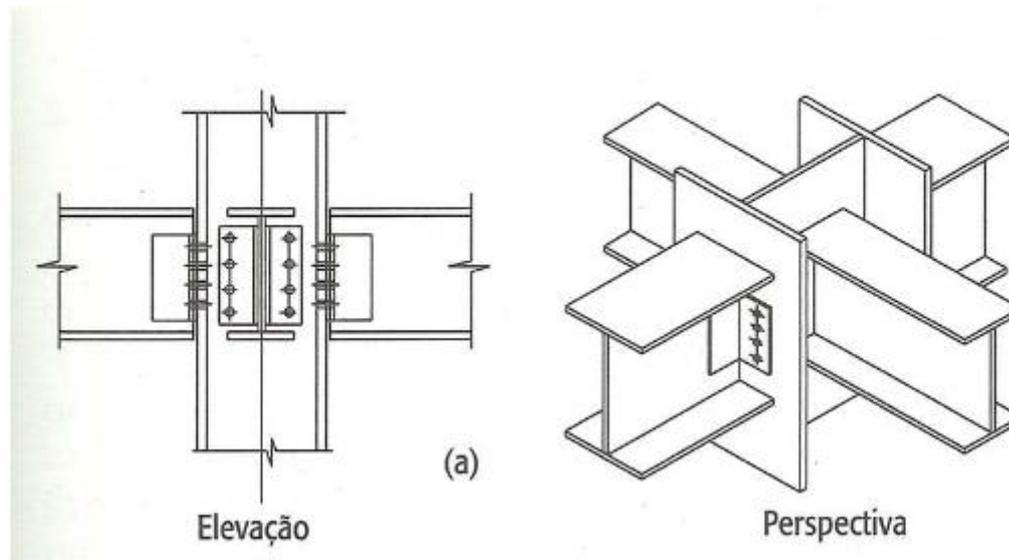
# EMENDAS DE COLUNAS

O critério para o projeto de emendas de colunas depende do acabamento da superfície de contato entre elas.

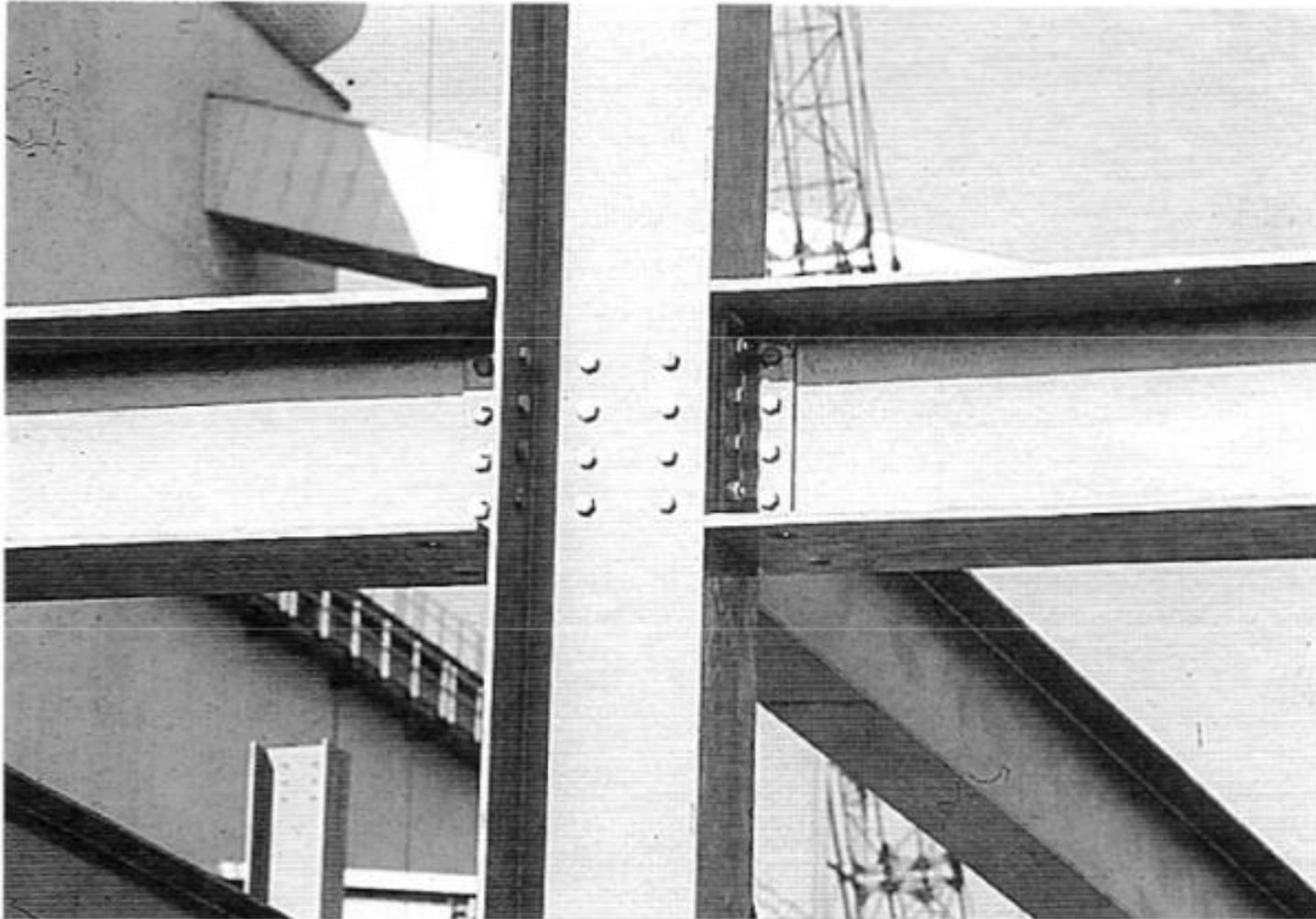
Quando as superfícies são usinadas, garantindo-se o contato entre elas, o esforço de compressão é transmitido diretamente pela superfície de contato.

A Figura a seguir ilustra uma emenda com superfícies não usinadas em que os esforços são transmitidos através de chapas de emenda (talas).

Solução para cisalhamento com cantoneira ou chapas na alma.

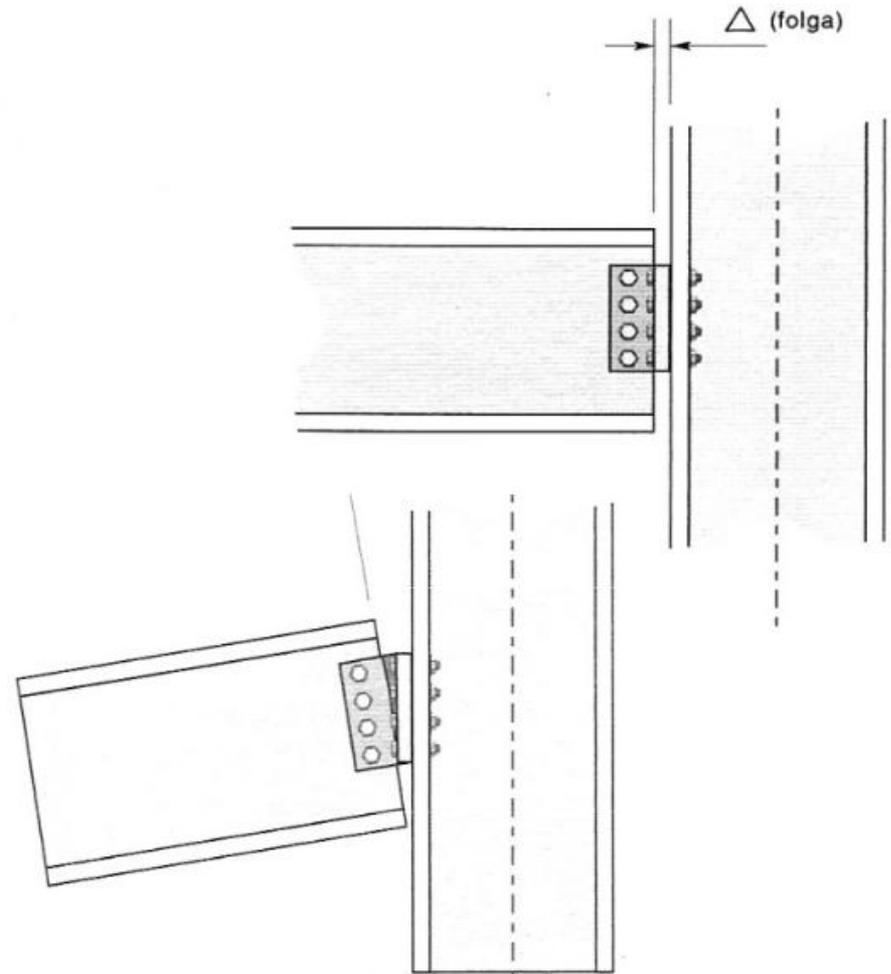
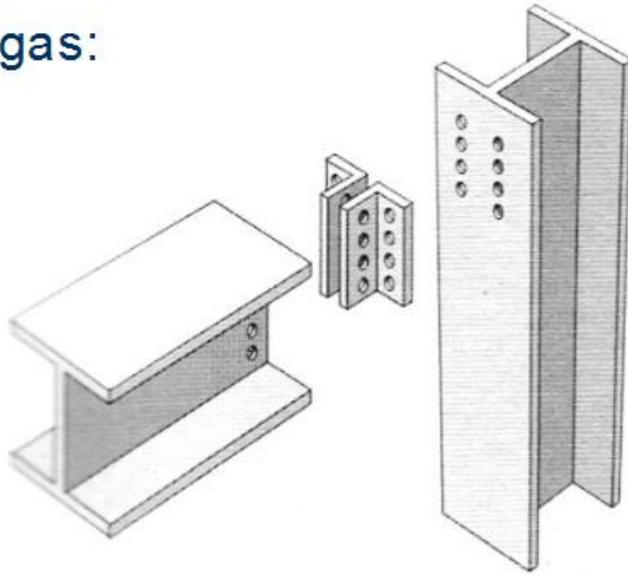


# EMENDAS DE COLUNAS

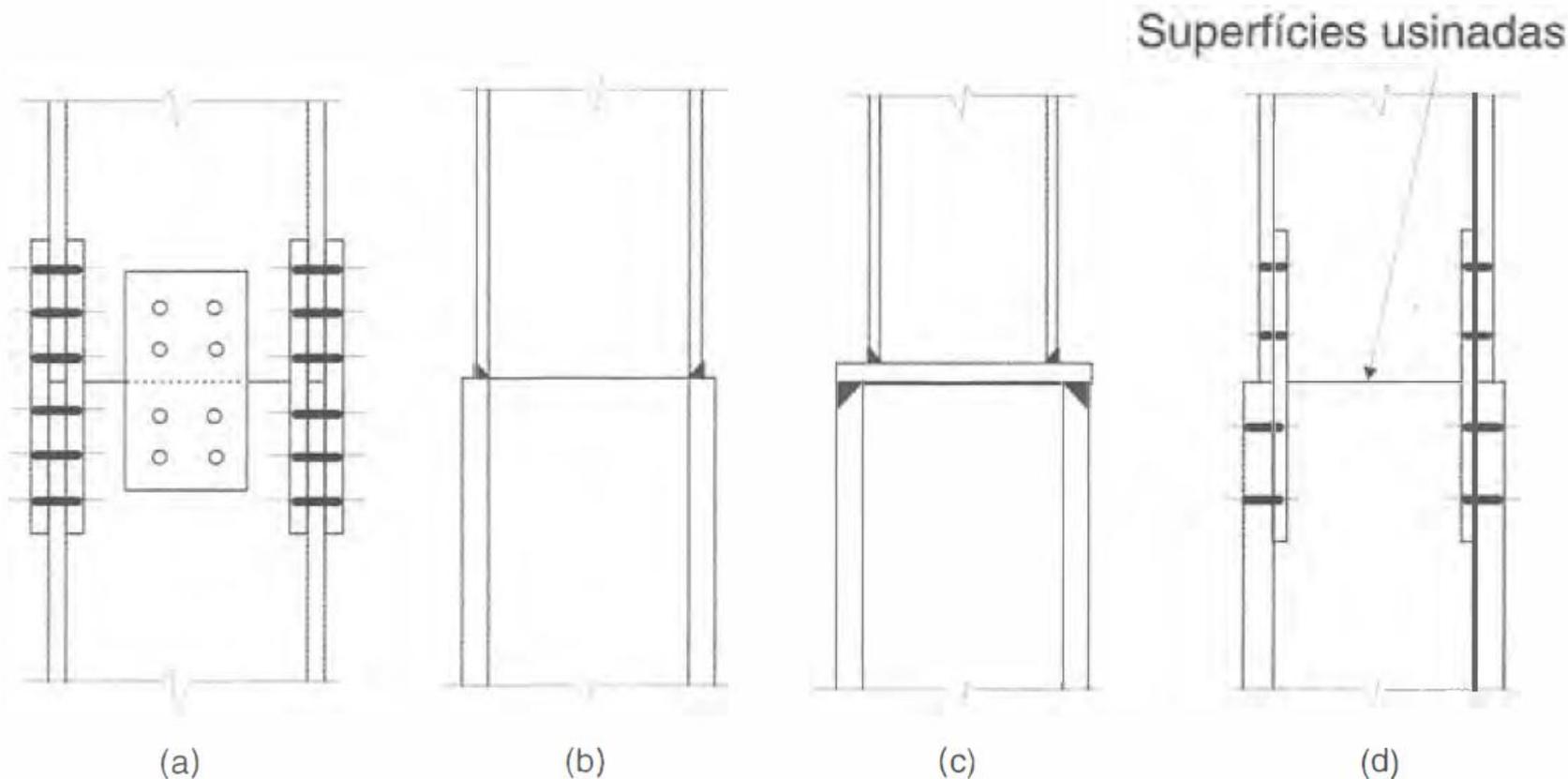


# EMENDAS DE COLUNAS

Vigas:

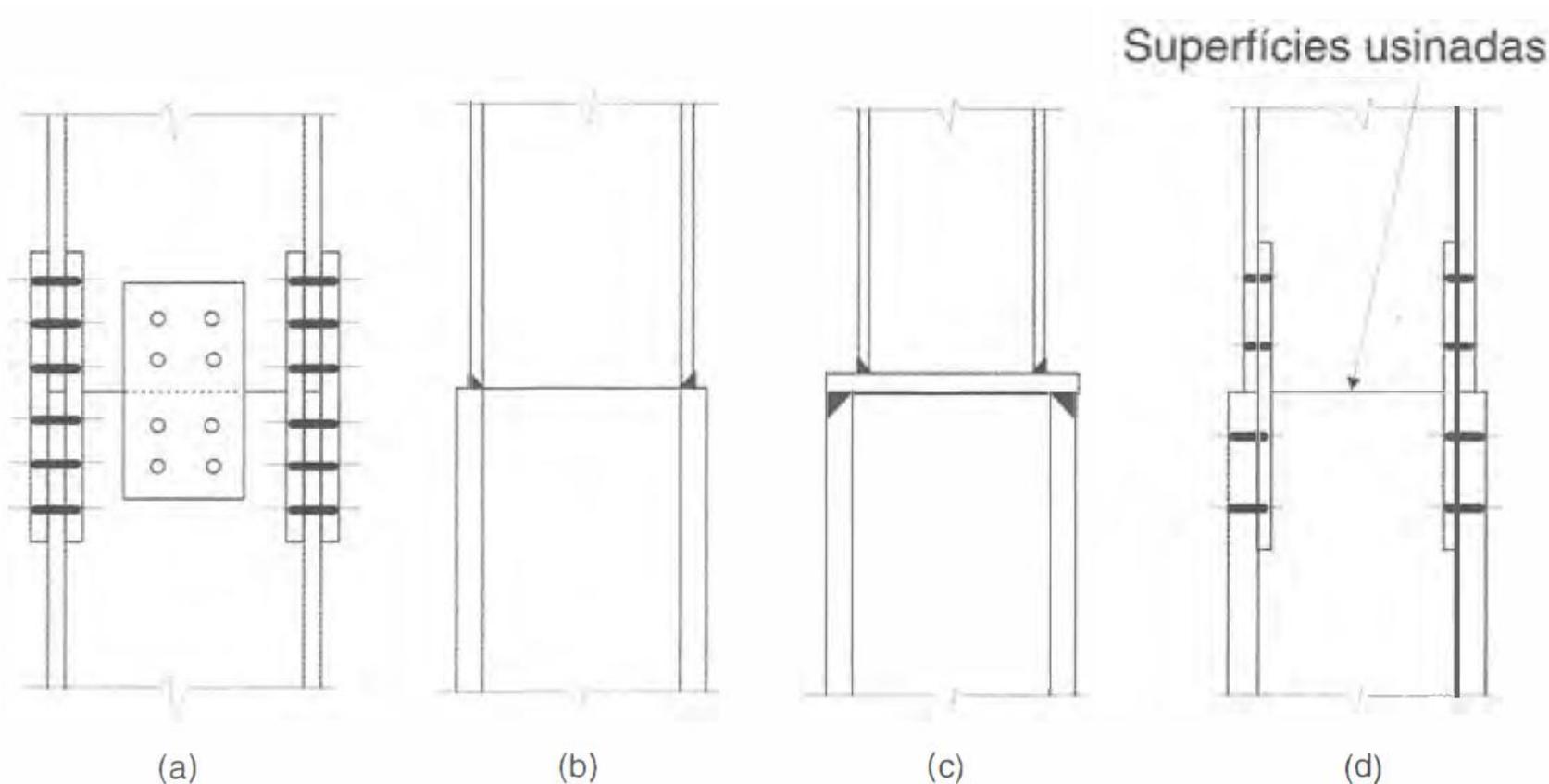


# EMENDAS DE COLUNAS



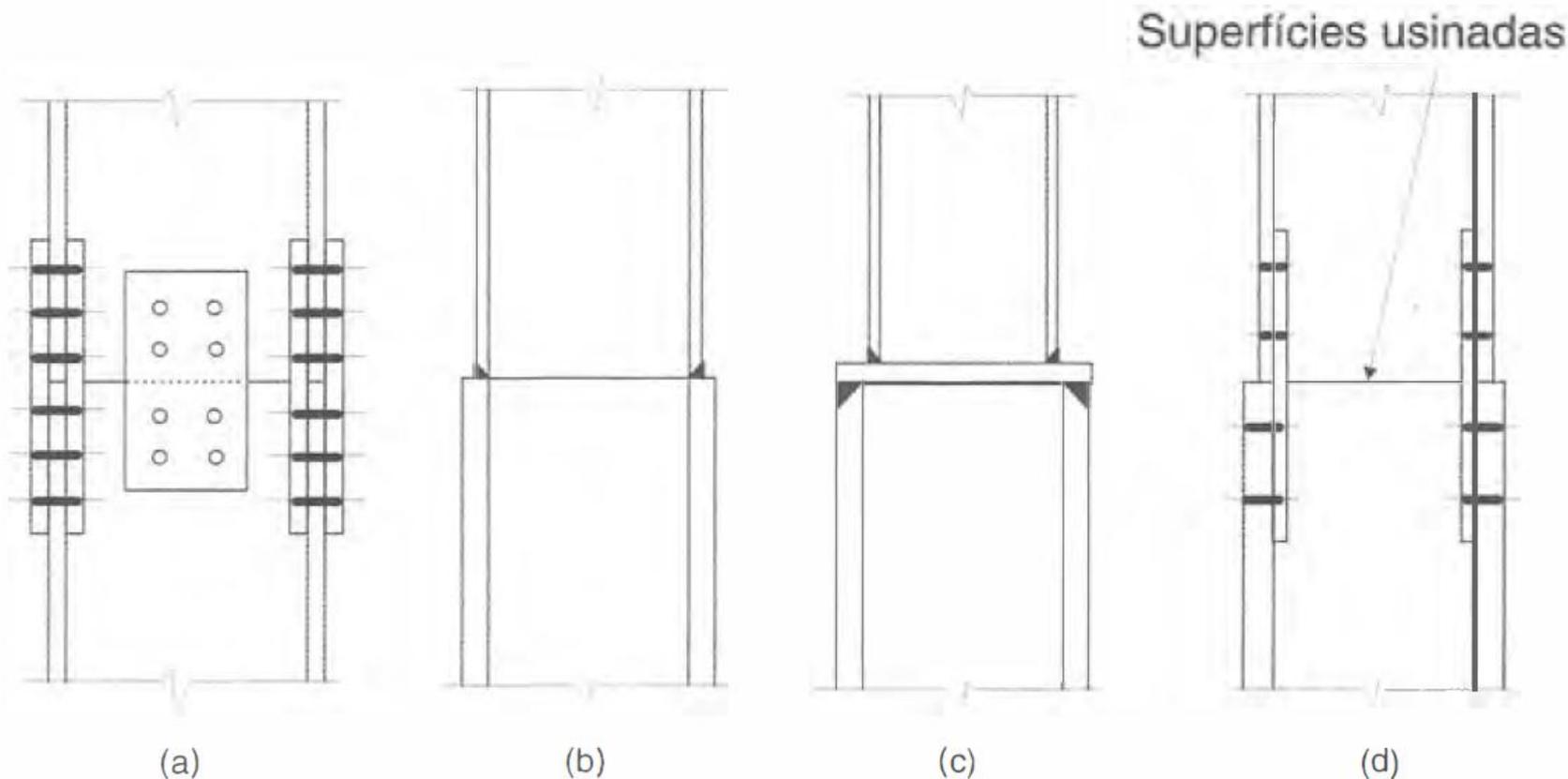
Emendas de colunas – a, b, e c representam emendas com superfícies não usinadas em que os esforços são transmitidos através de chapas de emenda (talas) parafusadas.

# EMENDAS DE COLUNAS



A emenda (d) é feita por contato em superfície usinada, e as ligações parafusadas (ou soldadas) adicionais são dimensionadas para absorver o esforço cortante e a eventual tração nas mesas dos perfis oriunda de momento fletor ou reversão de esforços.

# EMENDAS DE COLUNAS

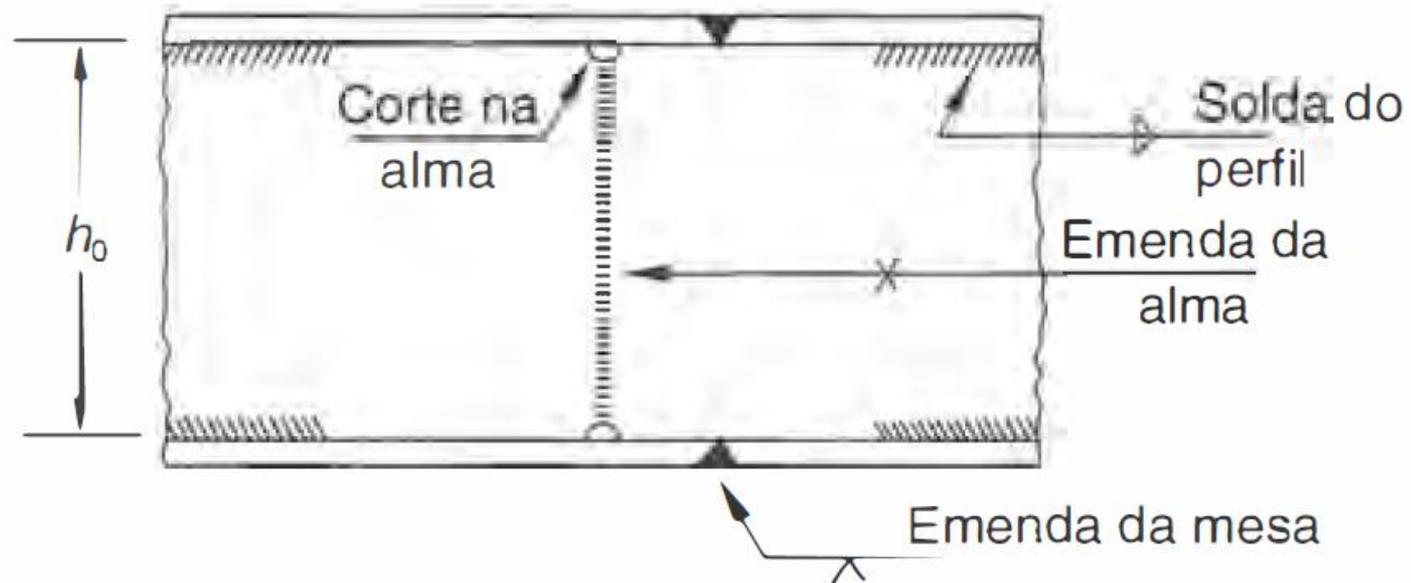


Nas emendas de pilares em estruturas de edifícios com mais de 40 metros de altura devem ser usados parafusos de alta resistência em ligações por atrito ou soldas, para evitar que deslizamentos na emenda sob cargas de serviço provoquem deformação excessiva na estrutura.

# EMENDAS EM VIGAS

**Emendas Soldadas:** as emendas de fábrica em vigas soldadas podem ser feitas com solda de entalhe, de penetração total.

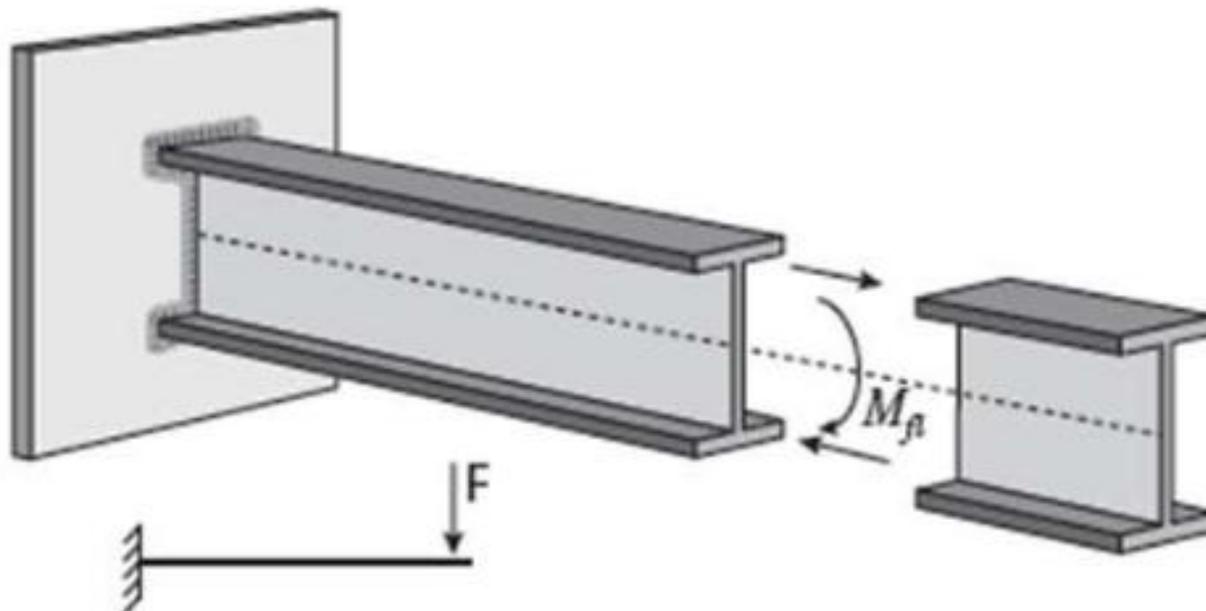
Sempre que possível, as soldas devem ser feitas simetricamente para evitar distorções.



# EMENDAS EM VIGAS

**Emendas Soldadas:** as emendas de fábrica em vigas soldadas podem ser feitas com solda de entalhe, de penetração total.

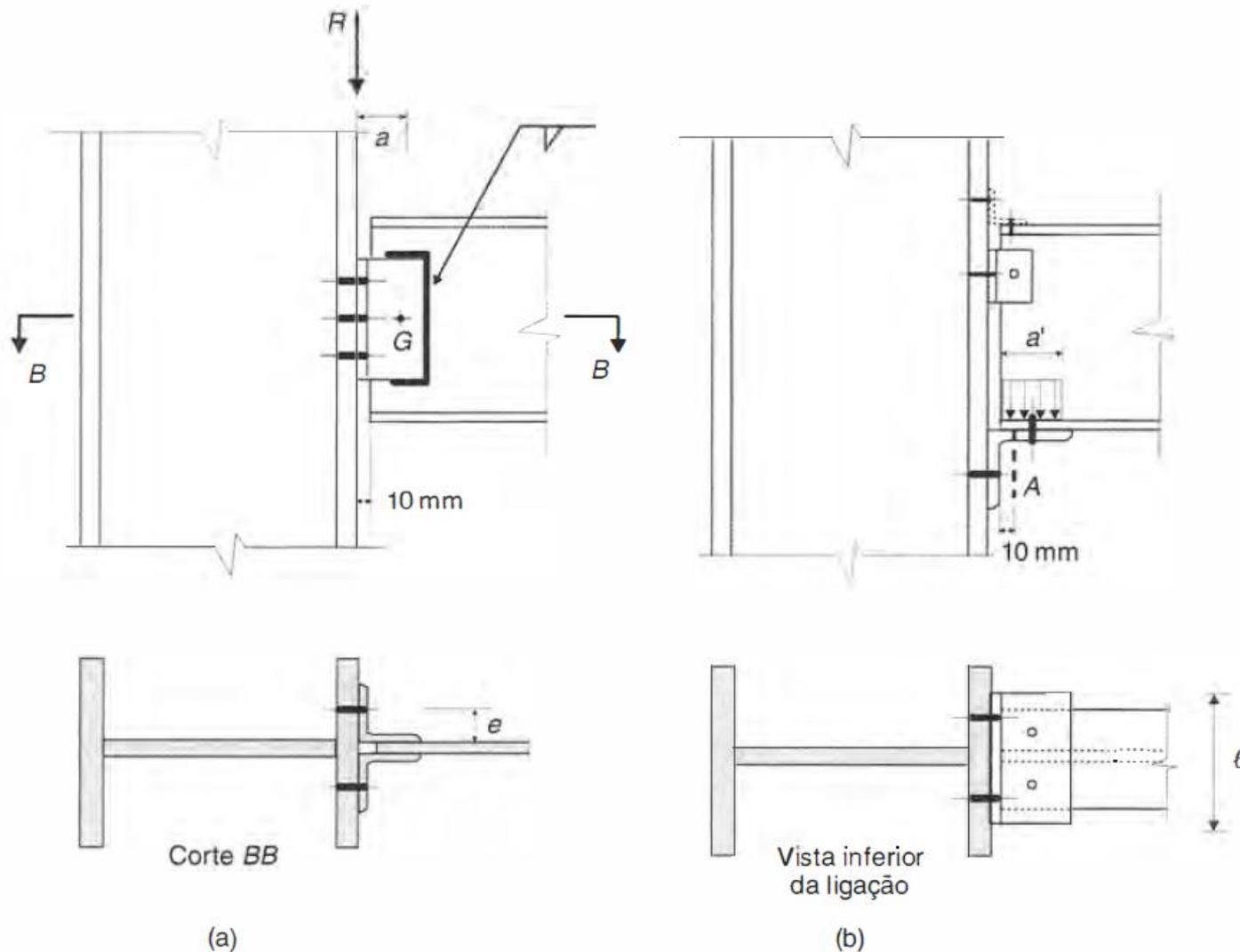
Sempre que possível, as soldas devem ser feitas simetricamente para evitar distorções.



# LIGAÇÕES FLEXÍVEIS

Detalhes usuais de ligações flexíveis entre viga e pilar. A principal característica dessas ligações é que elas transmitem um momento tão pequeno que pode ser desprezado no projeto (consideradas rótulas). Para isso é necessário que elas permitam a rotação das vigas em relação ao pilar. Ligação é calculada para transmissão apenas do **esforço cortante**.

# LIGAÇÕES FLEXÍVEIS

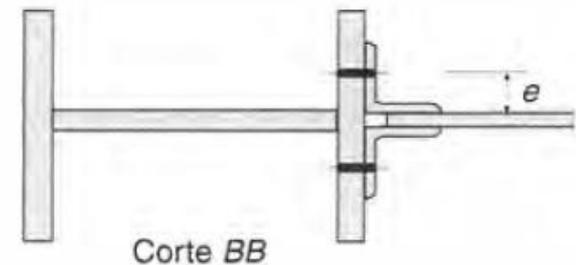
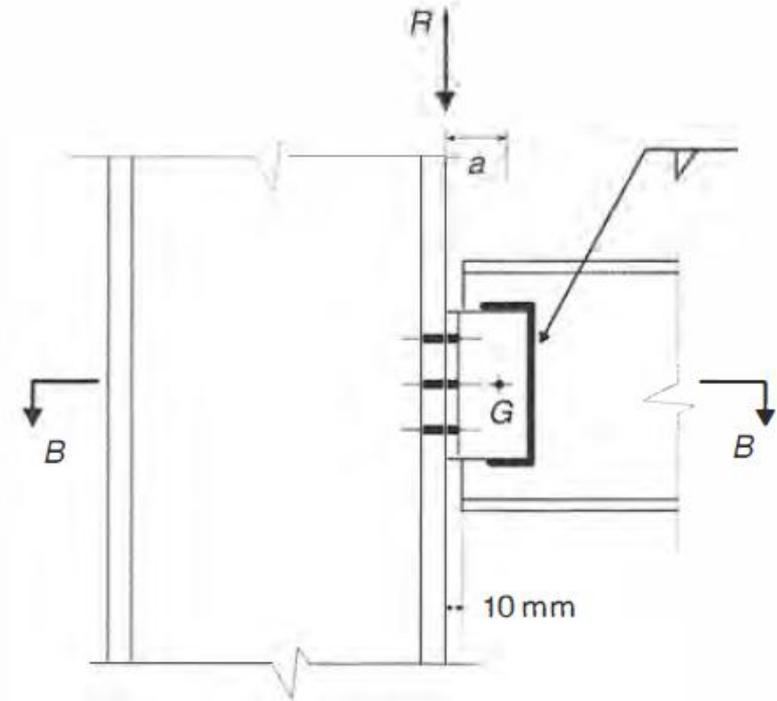
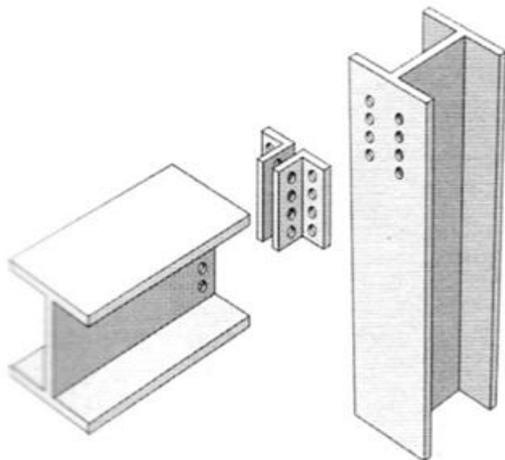


**Fig. 9.7** Ligações flexíveis viga-pilar: (a) ligação com cantoneira na alma; (b) ligação com cantoneira de apoio.

# LIGAÇÕES FLEXÍVEIS

## Ligação com Dupla Cantoneira de Alma:

Ligação através da alma com duas cantoneiras, as quais podem ser parafusadas ou soldadas tanto à alma da viga quanto à mesa da coluna. Em geral as cantoneiras são soldadas à alma da viga e parafusadas à mesa do pilar. Nesse caso considera-se a rótula na face do pilar.



(a)

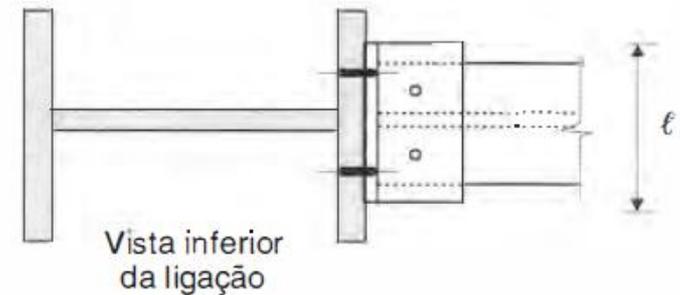
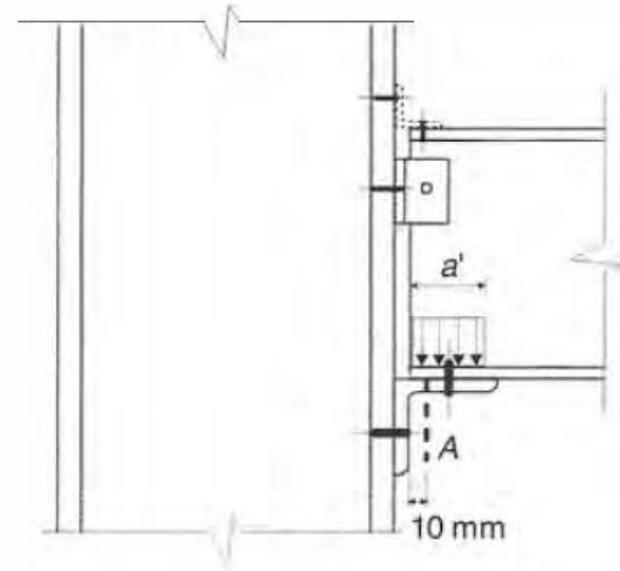
# LIGAÇÕES FLEXÍVEIS

## Ligação com Cantoneira de Apoio:

A cantoneira lateral (ou superior) deve ser fina e serve para dar estabilidade lateral à viga.

A espessura  $t$  da cantoneira de apoio é obtida pela resistência à flexão da seção AA.

$$M_{dres} = Z f_y / \gamma_{a1} = \frac{lt^2}{4} f_y / \gamma_{a1}$$

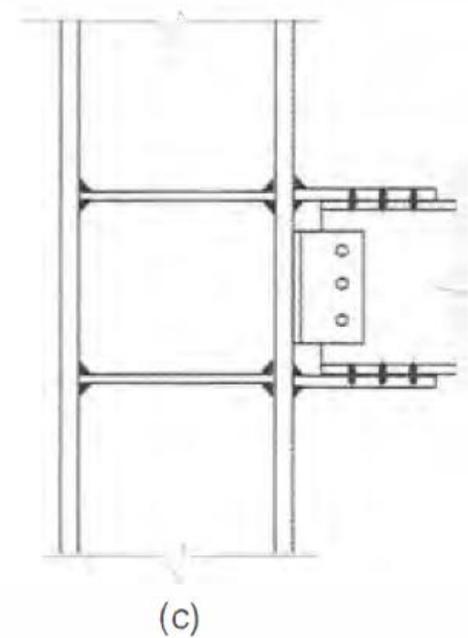
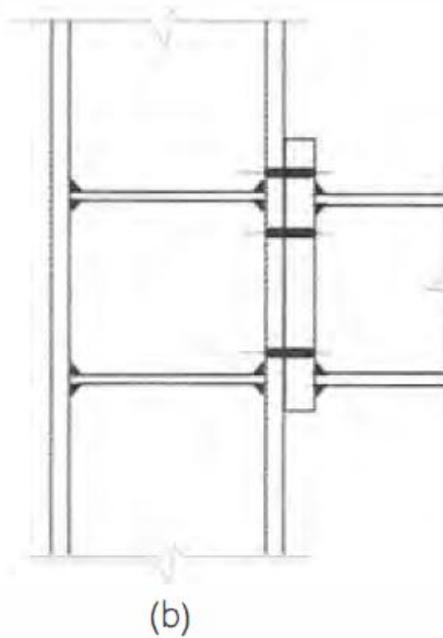
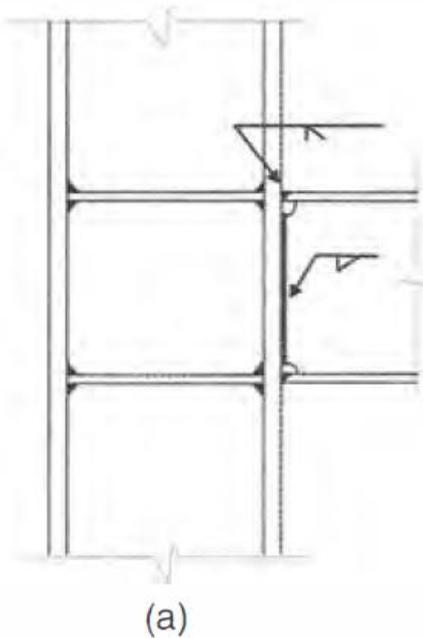


(b)

# LIGAÇÕES RÍGIDAS

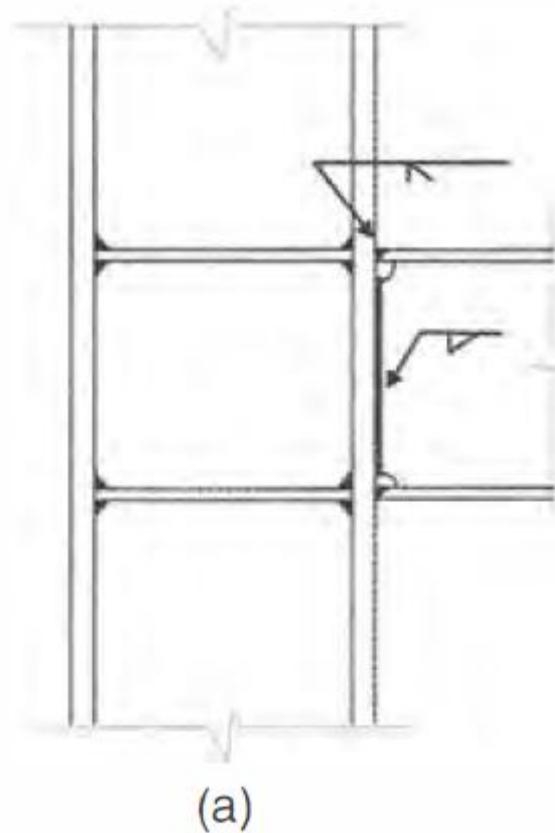
As ligações rígidas impedem a rotação relativa entre a viga e o pilar e são calculadas para transmitir o momento fletor e o esforço cortante da junta.

Alguns exemplos de ligação rígida entre viga e pilar.



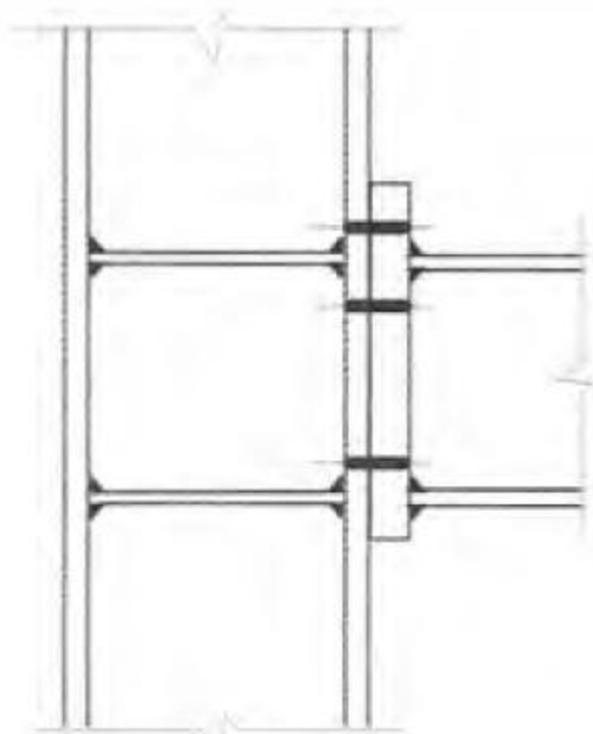
# LIGAÇÕES RÍGIDAS

Na Figura (a), as mesas e a alma da viga são soldadas diretamente à mesa do pilar.

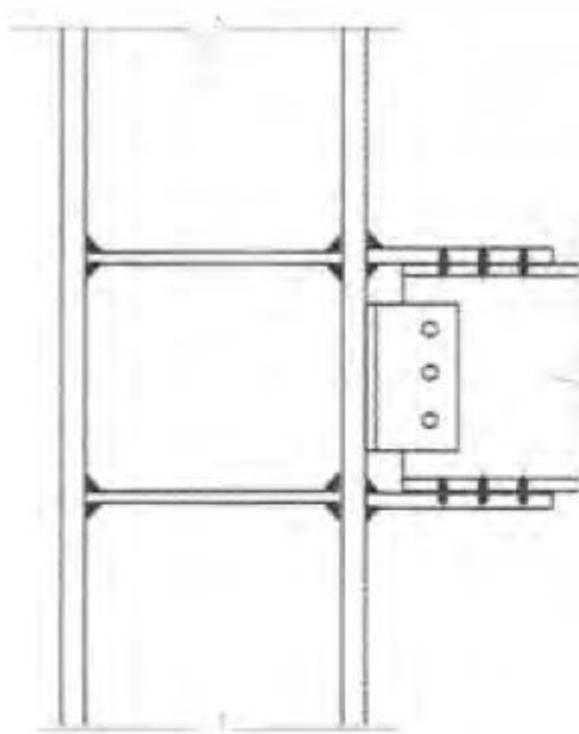


# LIGAÇÕES RÍGIDAS

Nas Figuras (b) e (c), a transmissão dos esforços é feita através de elementos acessórios, como a chapa de extremidade da figura b, a qual é soldada à viga em oficina e parafusada ao pilar no campo.



(b)

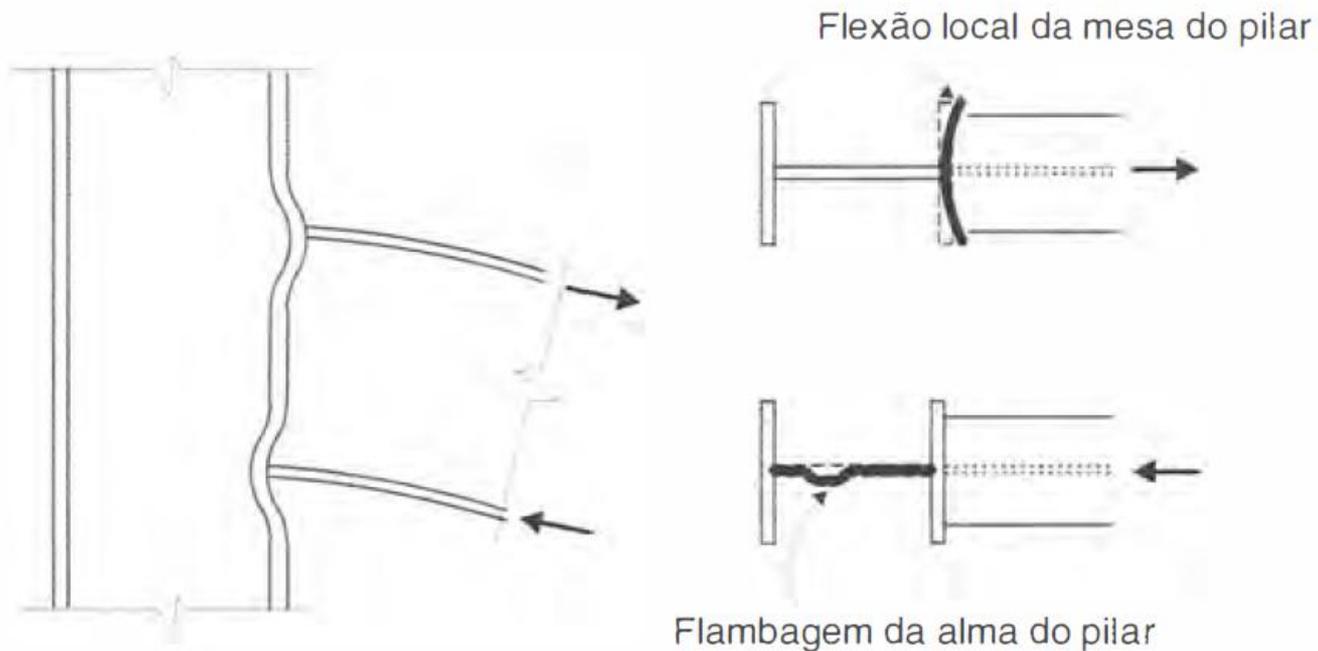


(c)

# LIGAÇÕES RÍGIDAS

Podem ocorrer os seguintes efeitos ilustrados:

(i) Quando em compressão a alma do pilar pode sofrer flambagem local ou de escoamento.

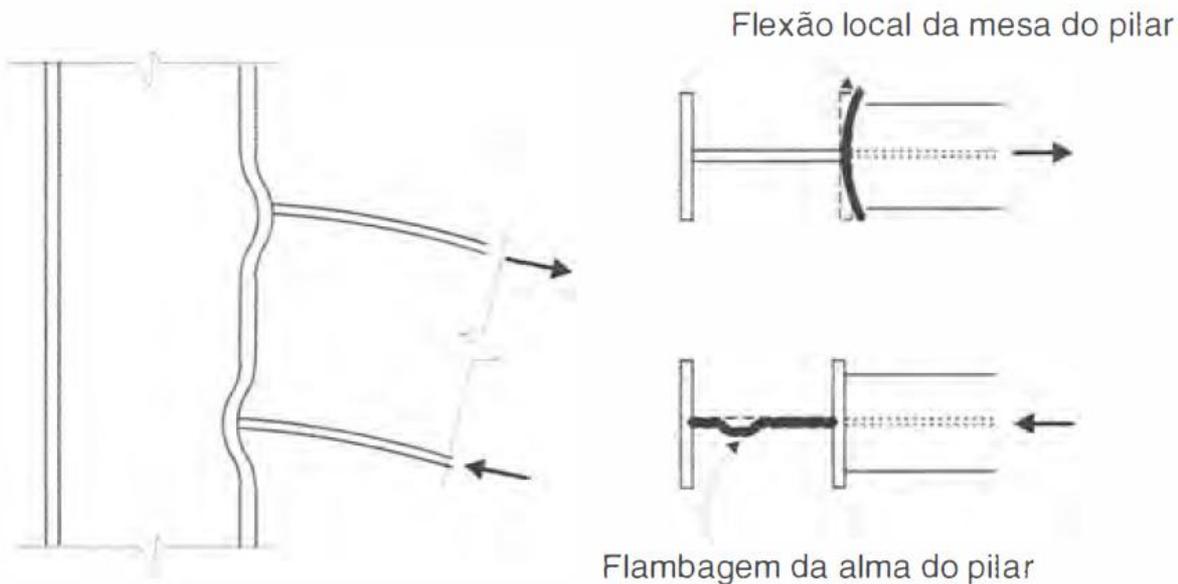


# LIGAÇÕES RÍGIDAS

Podem ocorrer os seguintes efeitos ilustrados:

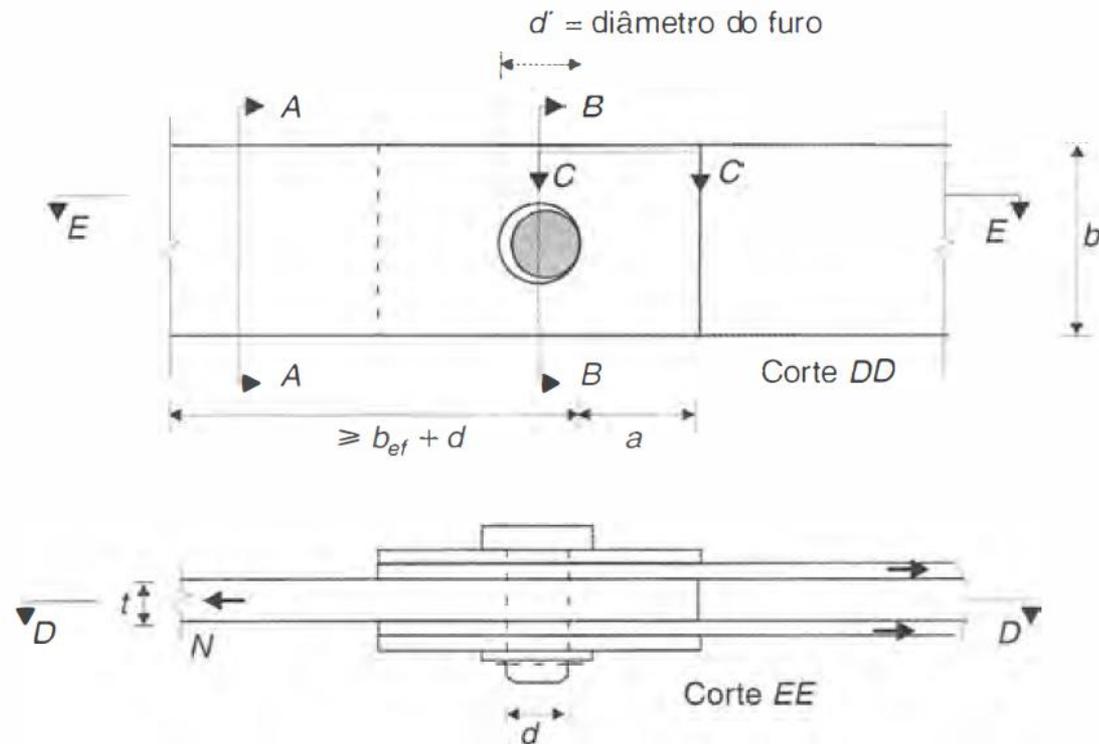
(ii) Devido à força da mesa tracionada da viga, a mesa do pilar pode apresentar excessiva deformação.

Para evitar esses efeitos, deve-se prover pares de enrijecedores horizontais dos pilares nos níveis das mesas da viga.



# LIGAÇÕES COM PINOS

Os pinos são conectores de grande diâmetro que trabalham isoladamente, sem comprimir transversalmente as chapas. Os pinos são utilizados em estruturas fixas desmontáveis ou em estruturas móveis.



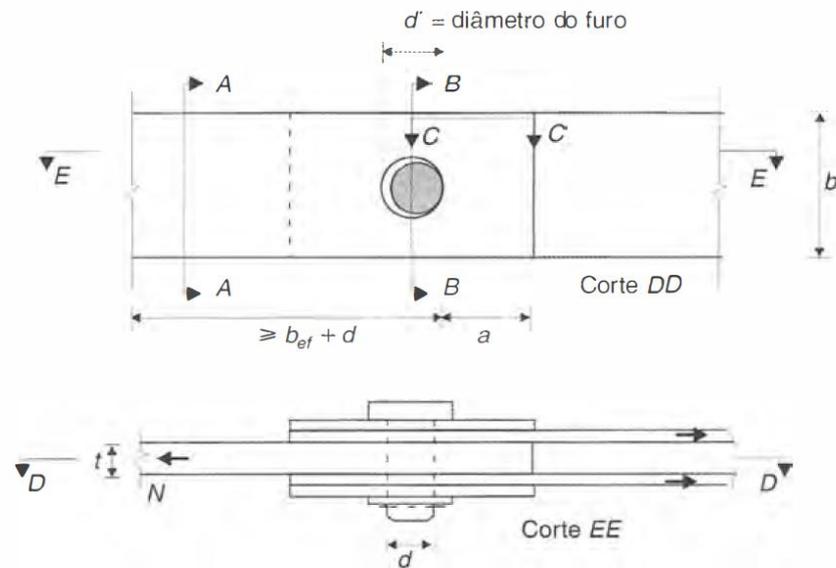
Ligação de barras com pino.

# LIGAÇÕES COM PINOS

Para o eixo do pino, faz-se três verificações de cálculo:

a) Resistência de cálculo à flexão do pino:

$$M_{dres} = 1,5W f_y / \gamma_{a1}$$



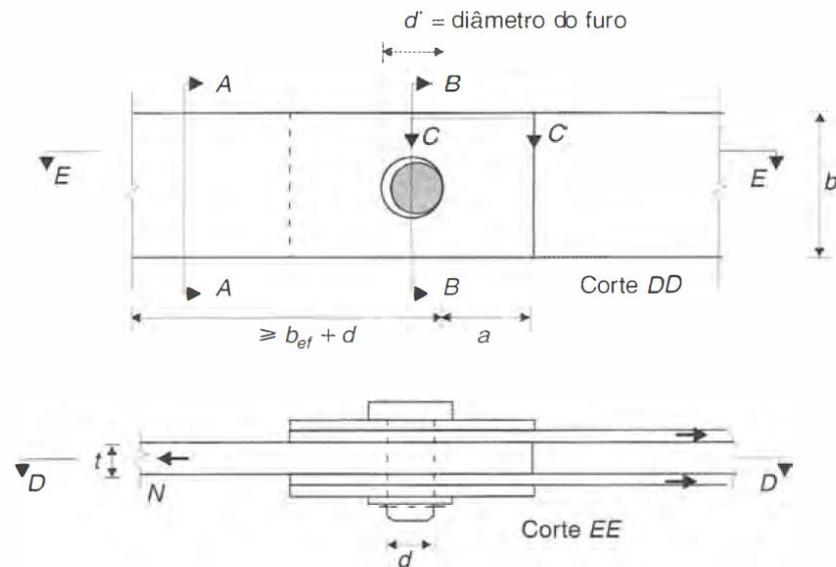
Ligação de barras com pino.

# LIGAÇÕES COM PINOS

b) Resistência de cálculo ao esmagamento (pressão de apoio) na chapa de ligação de espessura  $t$ :

$$R_d = t d (1,8 f_y) / \gamma_{a2}$$

Onde  $f_y$  é a menor tensão de escoamento das partes em contato.

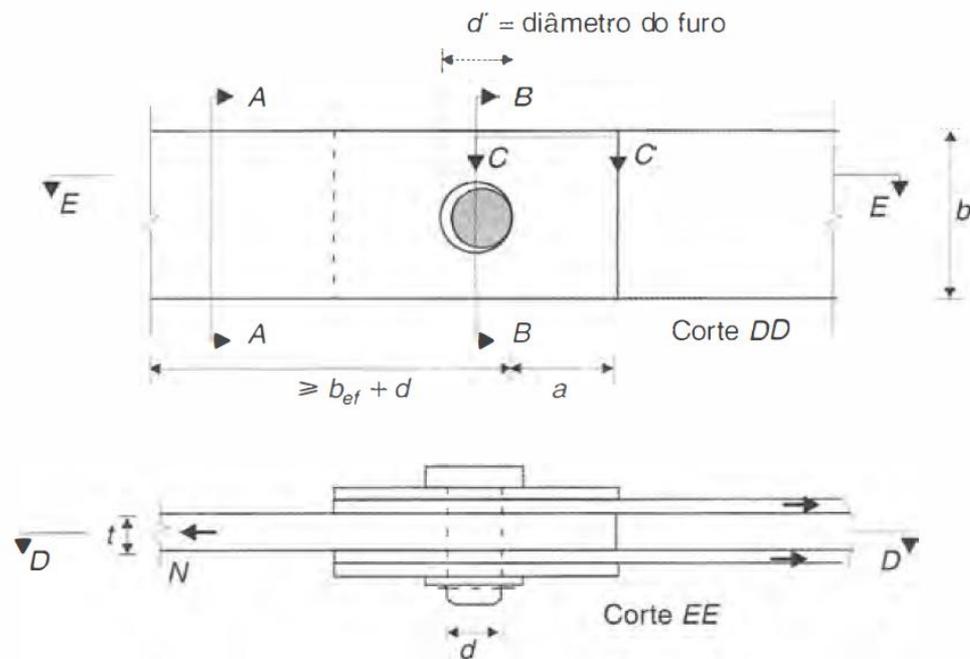


Ligação de barras com pino.

# LIGAÇÕES COM PINOS

c) Resistência ao corte do pino:

$$V_{dres} = 0,75A_g (0,6f_y) / \gamma_{a1}$$



Ligação de barras com pino.

# LIGAÇÕES COM PINOS

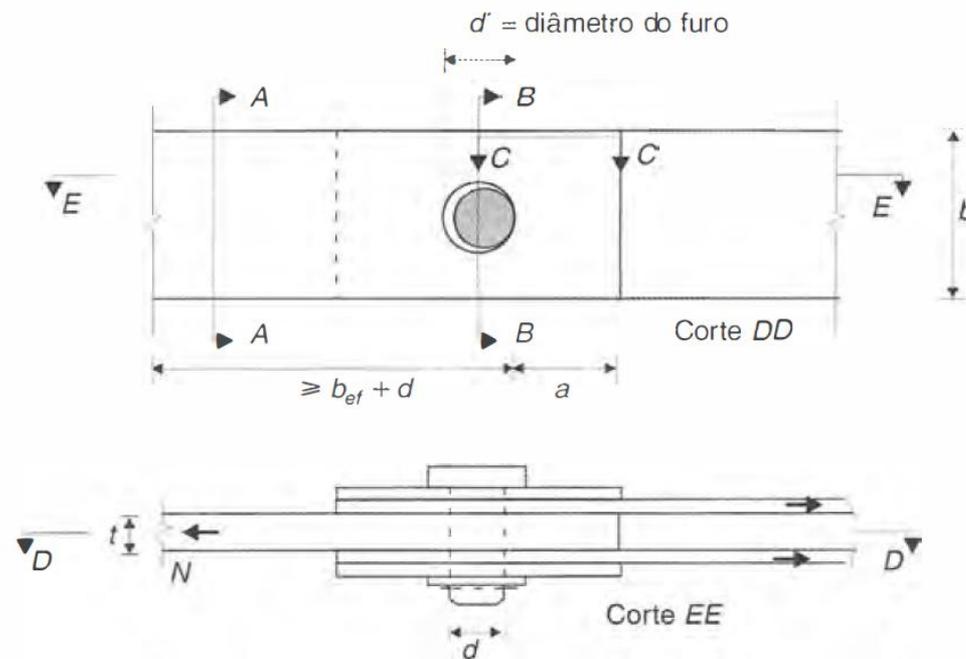
O dimensionamento das chapas de ligação é feito pelas tensões de tração na seção A-A, na seção B-B (ruptura da seção líquida) e de rasgamento na seção C-C.

Seção B-B

$$N_d \leq A_{nef} f_u / \gamma_{a2}$$

$$A_{nef} = 2tb_{ef}$$

$$b_{ef} = 2t + 16mm$$



Ligação de barras com pino.

# LIGAÇÕES COM PINOS

## Seção C-C

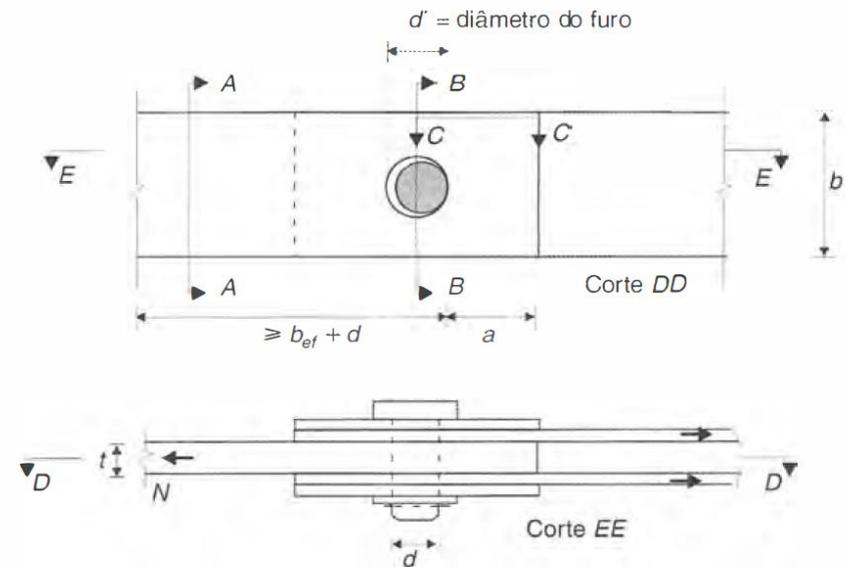
$$N_d \leq 0,60 A_v f_u / \gamma_{a2}$$

$$A_v = 2t \left( a + \frac{d}{2} \right)$$

São recomendadas as seguintes relações geométricas, na região do furo: ( $d'$  é o diâmetro do furo)

$$a \geq 1,33 b_{ef} = 1,33(2t + 16)$$

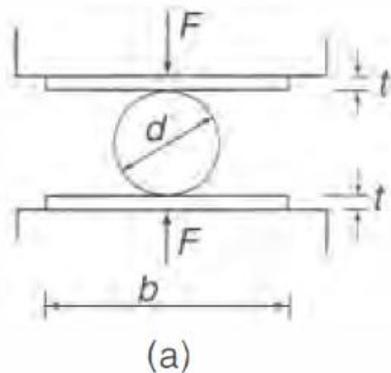
$$d' \leq d + 1mm$$



Ligação de barras com pino.

# APOIOS MÓVEIS COM ROLOS

Rolos metálicos maciços podem ser utilizados como apoio móvel. Em geral utiliza-se um único rolo.

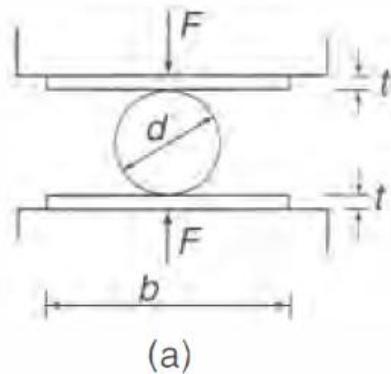


Para o dimensionamento do rolo, é determinante a tensão de contato entre a chapa e a geratriz do rolo (Fórmula de Hertz em regime elástico).

Considerando-se que as tensões são muito elevadas, dá-se a plastificação local na área de contato, não sendo coerente o emprego da fórmula elástica. Assim, utilizam-se fórmulas de resistência pós-escoamento:

# APOIOS MÓVEIS COM ROLOS

Assim, utilizam-se fórmulas de resistência pós-escoamento:



$$d \leq 635 \text{ mm} \quad F_d = \frac{1}{\gamma_{a2}} \frac{1,2(f_y - \sigma)}{20} ad \quad (N)$$

$$d > 635 \text{ mm} \quad F_d = \frac{1}{\gamma_{a2}} \frac{6,0(f_y - \sigma)}{20} a \sqrt{d d_{aux}} \quad (N)$$

# APOIOS MÓVEIS COM ROLOS

onde:

$F_d$  Força resistente de projeto à pressão de contato (N)

$a$  Comprimento do rolo (mm)

$d$  diâmetro do rolo (mm)

$d_{aux}$  25,4 mm

$$\sigma = 90MPa$$

$f_y$  Menor tensão de escoamento das partes em contato

Como a pressão de contato é o fator determinante, faz-se apoios de rolo em que as superfícies de contato são revestidas com uma capa de 5 a 10 mm de aço-cromo inoxidável, de alta resistência.

Rolos podem ser fabricados em aços estruturais (MR250 ou AR345) ou em aços de denominação mecânica (1020, 1045, etc)

# Referências



Pfeil, W., Pfeil, M., "Estruturas de Aço – Dimensionamento básico de acordo com a NBR 8800:2008", 8ª edição, LTC.