

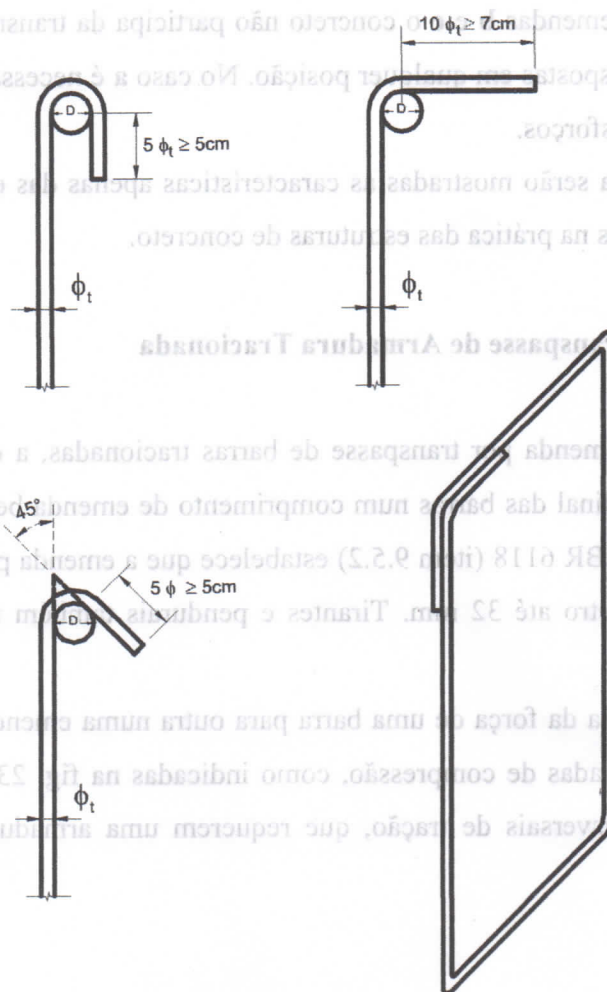


Fig. 21 – Tipos de ganchos para os estribos.

6. EMENDAS DE BARRAS

As barras de aço (vergalhões) apresentam usualmente o comprimento de 12 m. Em elementos estruturais de comprimento superior a 12 m, como vigas e pilares por exemplo, torna-se necessário fazer a emenda das barras de aço. A NBR 6118/2003 apresenta a emenda das barras no item 9.5, segundo um dos seguintes tipos:

- por traspasse (ou transpasse);
- por luvas com preenchimento metálico, rosqueadas ou prensadas;
- por solda;
- por outros dispositivos devidamente justificados.

No caso das emendas **b** e **c** o concreto não participa da transmissão de esforços, podendo as emendas serem dispostas em qualquer posição. No caso **a** é necessário que o concreto participe na transmissão dos esforços.

Nesta apostila serão mostradas as características apenas das emendas por transpasse, que são bem mais comuns na prática das estruturas de concreto.

6.1 Emendas por Transpasse de Armadura Tracionada

No caso de emenda por transpasse de barras tracionadas, a emenda é feita pela simples justaposição longitudinal das barras num comprimento de emenda bem definido, como mostrado nas fig. 22 e 23. A NBR 6118 (item 9.5.2) estabelece que a emenda por transpasse só é permitida para barras de diâmetro até 32 mm. Tirantes e pendurais também não admitem a emenda por transpasse.

A transferência da força de uma barra para outra numa emenda por transpasse ocorre por meio de bielas inclinadas de compressão, como indicadas na fig. 23. Ao mesmo tempo surgem também tensões transversais de tração, que requerem uma armadura transversal na região da emenda.



Fig. 22 – Aspecto da fissuração na emenda de duas barras (LEONHARDT & MÖNNIG – 1982).

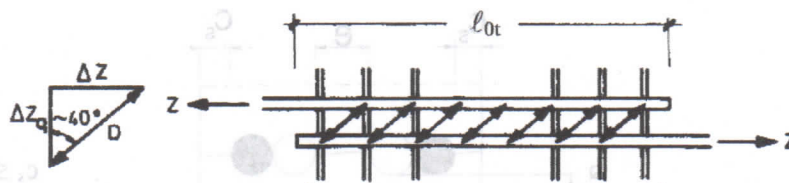


Fig. 23 – Transmissão da força R_s por bielas comprimidas inclinadas de concreto e tração transversal (LEONHARDT & MÖNNIG – 1982).

As barras a serem emendadas devem ficar próximas entre si, numa distância não superior a 4ϕ (fig. 24). Barras com saliências podem ficar em contato direto, dado que as saliências mobilizam o concreto para a transferência da força.

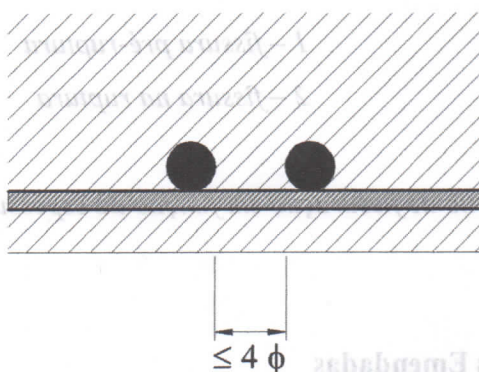


Fig. 24 – Espaçamento máximo entre duas barras emendadas por transpasse.

O padrão de fissuração na ruptura de emendas depende do cobrimento de concreto nas duas direções, como mostrado na fig. 25. A ruptura do cobrimento na região da emenda ocorre de uma ou outra forma, dependendo do espaçamento entre as emendas. A resistência da emenda depende do comprimento de transpasse, do diâmetro e espaçamento das barras e da resistência do concreto. O aumento do comprimento de transpasse não aumenta a resistência da emenda na mesma proporção.

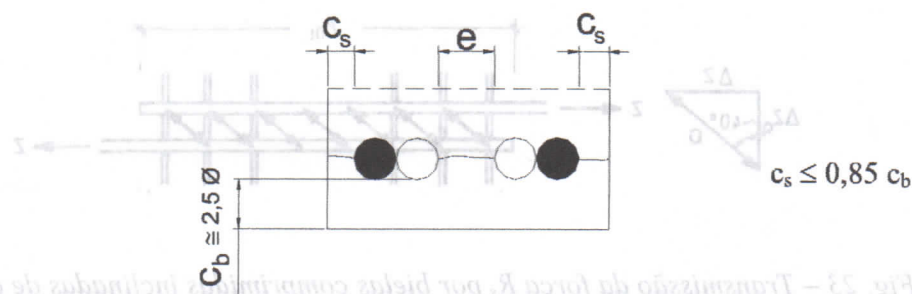
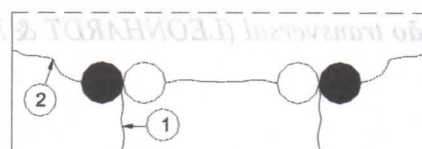


Fig. 23 - Transmissão da força R, por barras comprimentadas inclinadas de concreto

e tração transversal (LEONHARDT & MÖNING - 1983).

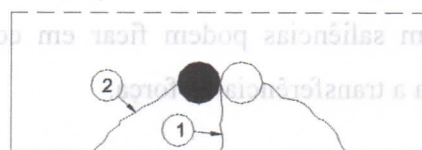


$$c_s > 0,85 c_b$$

$$c_s \leq 4,0 c_b$$

As barras a serem emendadas devem ficar próximas entre si, numa distância não superior a

4 ϕ (fig. 24). Barras com saliências podem ficar em contato direto, dado que as saliências



$$c_s > 4,0 c_b$$

$$c_s \leq 8,0 c_b$$

1 - fissura pré-ruptura

2 - fissura na ruptura

Fig. 25 - Padrão de fissuração em função da espessura do cobrimento.

6.1.1 Proporção de Barras Emendadas

Como visto, a emenda de barras introduz tensões de tração e de compressão na região da emenda. Para evitar altas concentrações de tensão, deve-se limitar a quantidade de emendas numa mesma seção.

A NBR 6118/2003 considera na mesma seção transversal as emendas que se superpõem ou cujas extremidades mais próximas estejam afastadas menos que 20 % do maior comprimento de transpasse, como indicado na fig. 26.

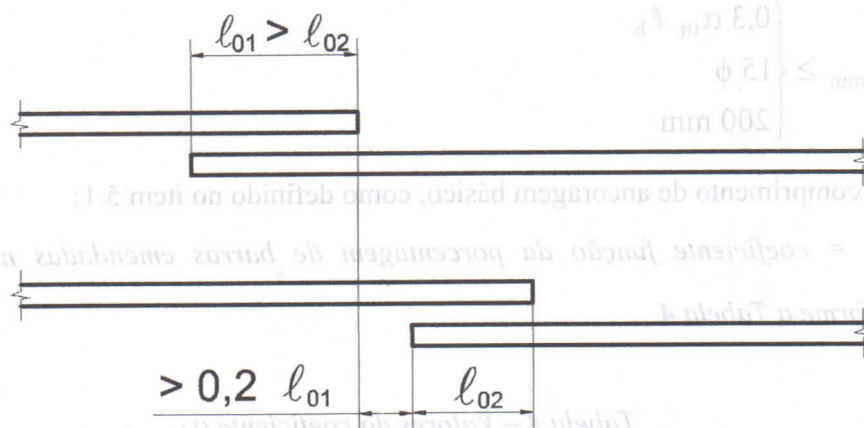


Fig. 26 – Emendas supostas na mesma seção transversal.

A proporção máxima de barras tracionadas da armadura principal emendadas por transpasse na mesma seção transversal do elemento estrutural deve obedecer o disposto na Tabela 3.

Tabela 3 – Proporção máxima de barras tracionadas emendadas.

Tipo de barra	Situação	Tipo de carregamento	
		Estático	Dinâmico
Alta aderência	Em uma camada	100 %	100 %
	Em mais de uma camada	50 %	50 %
Lisa	$\phi < 16 \text{ mm}$	50 %	25 %
	$\phi \geq 16 \text{ mm}$	25 %	25 %

Quando se tratar de armadura permanentemente comprimida ou de distribuição, todas as barras podem ser emendadas na mesma seção transversal.

6.1.2 Comprimento de Transpasse de Barras Isoladas Tractionadas

Quando a distância livre entre barras emendadas estiver compreendida entre zero e 4ϕ , o comprimento do trecho de transpasse para barras tracionadas deve ser:

$$\ell_{0t} = \alpha_{0t} \ell_{b,nec} \geq \ell_{0t,min} \quad (6)$$

$\ell_{b,nec}$ = comprimento de ancoragem necessário, como definido no item 5.1;

$$\text{onde: } \ell_{0t,\min} \geq \begin{cases} 0,3 \alpha_{0t} \ell_b \\ 15 \phi \\ 200 \text{ mm} \end{cases} \quad (7)$$

ℓ_b = comprimento de ancoragem básico, como definido no item 5.1;

α_{0t} = coeficiente função da porcentagem de barras emendadas na mesma seção, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Valores do coeficiente α_{0t} .

Barras emendadas na mesma seção (%)	≤ 20	25	33	50	> 50
Valores de α_{0t}	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

Quando a distância livre entre barras emendadas for maior que 4ϕ , ao comprimento de transpasse deve ser acrescida a distância livre entre barras emendadas.

6.1.3 Comprimento de Transpasse de Barras Isoladas Comprimidadas

Nas emendas de barras de aço à compressão existe o efeito favorável da ponta da barra e, por este motivo, o comprimento da emenda não é majorado como no caso de emendas de barras tracionadas.

Quando as barras estiverem comprimidas, como ocorre normalmente com as barras longitudinais dos pilares, adota-se a seguinte expressão para cálculo do comprimento de transpasse:

$$\ell_{0c} = \ell_{b,nec} \geq \ell_{0c,\min} \quad (8)$$

$$\text{onde: } \ell_{0c,\min} \geq \begin{cases} 0,6 \ell_b \\ 15 \phi \\ 200 \text{ mm} \end{cases} \quad (9)$$

ℓ_b = comprimento de ancoragem básico, como definido no item 5.1;

$\ell_{b,nec}$ = comprimento de ancoragem necessário, como definido no item 5.1;

6.1.4 Armadura Transversal nas Emendas por Transpasse de Barras Isoladas

Com o objetivo de combater as tensões transversais de tração, que podem originar fissuras na região da emenda, a NBR 6118/2003 recomenda a adoção de armadura transversal à emenda, em função da emenda ser de barras tracionadas, comprimidas ou fazer parte de armadura secundária.

6.1.4.1 Armadura Principal Tractionada

Quando $\phi < 16$ mm ou a proporção de barras emendadas na mesma seção for menor que 25 %, a área da armadura transversal deve resistir a 25 % da força longitudinal atuante na barra.

Nos casos em que $\phi \geq 16$ mm ou quando a proporção de barras emendadas na mesma seção for maior ou igual a 25 %, a armadura transversal deve (fig. 27):

- ser capaz de resistir a uma força igual à de uma barra emendada, considerando os ramos paralelos ao plano da emenda;
- ser constituída por barras fechadas se a distância entre as duas barras mais próximas de duas emendas na mesma seção for $< 10 \phi$ (ϕ = diâmetro da barra emendada);
- concentrar-se nos terços extremos da emenda.

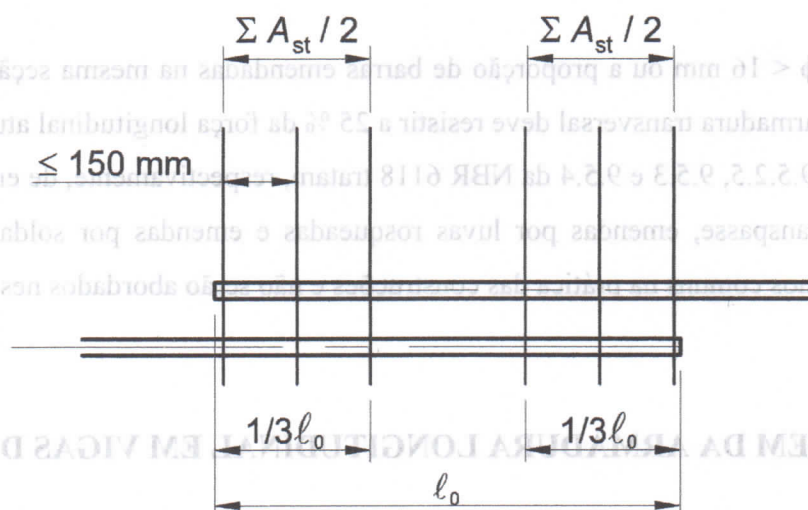


Fig. 27 – Disposição da armadura transversal nas emendas de barras tracionadas.

6.1.4.2 Armadura Principal Comprimida

Devem ser mantidos os critérios estabelecidos para o caso de armadura principal tracionada, com pelo menos uma barra de armadura transversal posicionada 4ϕ além das extremidades da emenda, conforme mostrado na fig. 28.

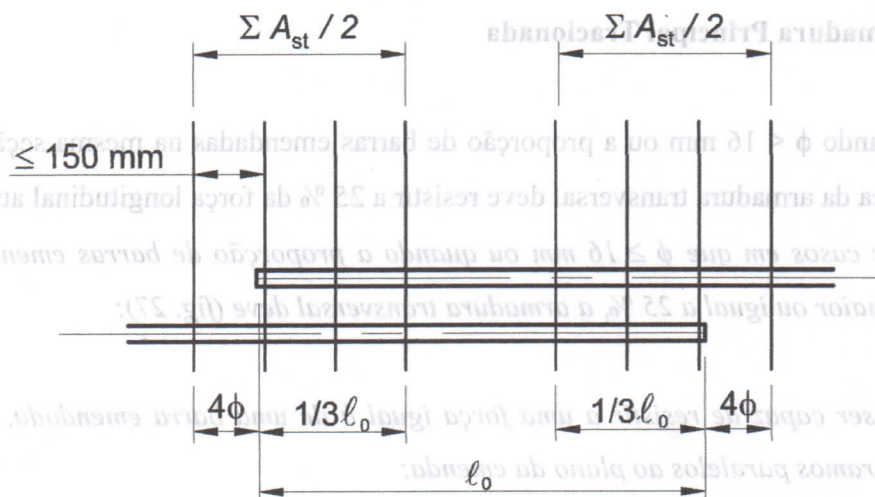


Fig. 28 – Disposição da armadura transversal nas emendas de barras comprimidas.

6.1.4.3 Armaduras Secundárias

Quando $\phi < 16$ mm ou a proporção de barras emendadas na mesma seção for menor que 25 %, a área da armadura transversal deve resistir a 25 % da força longitudinal atuante na barra.

Os itens 9.5.2.5, 9.5.3 e 9.5.4 da NBR 6118 tratam, respectivamente, de emendas de feixes de barras por transpasse, emendas por luvas rosqueadas e emendas por solda. Esses tipos de emendas são menos comuns na prática das construções e não serão abordados nesta apostila.

7. ANCORAGEM DA ARMADURA LONGITUDINAL EM VIGAS DE EDIFÍCIOS

Neste item será visto como deve ser feito o detalhamento da armadura longitudinal de tração das vigas, ou seja, até que posição do vão as barras devem se estender, e também a ancoragem das barras que chegarem até os apoios intermediários e extremos.

7.1 Decalagem do Diagrama de Força no Banzo Tracionado

O deslocamento ou decalagem do diagrama de forças R_{st} (M_d/z) deve ser feito para se compatibilizar o valor da força atuante na armadura tracionada, determinada no banzo tracionado da treliça de Ritter-Mörsch, com o valor da força determinada usando o diagrama de momentos fletores de cálculo.

Para determinação do ponto de interrupção ou dobramento das barras longitudinais nas peças fletidas, o diagrama de forças R_{st} (M_d/z) na armadura deve ser deslocado, dando-se aos pontos uma translação paralela ao eixo da peça, de valor a_t . A NBR 6118/2003 prescreve o seguinte (item 17.4.2.2): “Quando a armadura longitudinal de tração for determinada através do equilíbrio de esforços na seção normal ao eixo do elemento estrutural, os efeitos provocados pela fissuração oblíqua podem ser substituídos no cálculo pela decalagem do diagrama de força no banzo tracionado”.

A decalagem pode ser substituída, aproximadamente, pela correspondente decalagem do diagrama de momentos fletores.

O valor do deslocamento a_t deve ser adotado em função do modelo de cálculo adotado no dimensionamento da armadura transversal.

7.1.1 Modelo de Cálculo I

A equação para determinação do deslocamento a_t a ser aplicado no diagrama de momentos fletores, para o modelo de cálculo I, é:

$$a_t = d \left[\frac{V_{Sd,máx}}{2(V_{Sd,máx} - V_c)} (1 + \cot g \alpha) - \cot g \alpha \right] \quad (10)$$

sendo: $a_t \geq 0,5d \Rightarrow$ no caso geral;

$a_t \geq 0,2d \Rightarrow$ para estribos inclinados a 45° .

A decalagem do diagrama de força no banzo tracionado pode também ser obtida simplesmente aumentando a força de tração, em cada seção, pela expressão:

$$R_{Sd,cor} = \frac{M_{Sd}}{2} + |V_{Sd}| (\cot g \theta - \cot g \alpha) \frac{1}{2} \quad (11)$$

7.1.2 Modelo de Cálculo II

A equação para determinação do deslocamento a_e a ser aplicado no diagrama de momentos fletores, para o modelo de cálculo II, é:

$$a_e = 0,5 d (\cot \theta - \cot \alpha) \quad (12)$$

sendo: $a_e \geq 0,5d \Rightarrow$ no caso geral;

$a_e \geq 0,2d \Rightarrow$ para estribos inclinados a 45° .

A decalagem do diagrama de força no banzo tracionado pode também ser obtida simplesmente aumentando a força de tração, em cada seção, pela eq. 11.

7.2 Ponto de Início de Ancoragem

Define-se a seguir em que ponto ao longo do vão da viga se pode retirar de serviço a barra da armadura longitudinal tracionada de flexão, o que normalmente é feito na prática com o propósito de diminuir o consumo de aço na viga e, conseqüentemente, gerar economia.

A NBR 6118/2003 (item 18.3.2.3.1, p.102) estabelece que a ancoragem por aderência de uma barra da armadura longitudinal de tração tem início na seção teórica onde sua tensão σ_s começa a diminuir, ou seja, o esforço da armadura começa a ser transferido para o concreto. O comprimento da ancoragem deve prolongar-se pelo menos 10ϕ além do ponto teórico de tensão σ_s nula (fig. 29). Considerando o diagrama de forças $R_{sd} = M_{sd}/z$, decalado do comprimento a_e , o início do comprimento de ancoragem da barra corresponde ao ponto A, devendo prolongar-se no mínimo 10ϕ além do ponto B.

Se a barra for dobrada, o início do dobramento pode coincidir com o ponto B.

A norma permite a definição do ponto de interrupção das barras conforme o diagrama de momentos fletores, deslocado do valor de a_e . Para isso é necessário definir como será composta a armadura longitudinal de tração, isto é, o número e o diâmetro das barras. O momento fletor máximo é dividido pelo número de barras, proporcionalmente às áreas das barras da armadura.

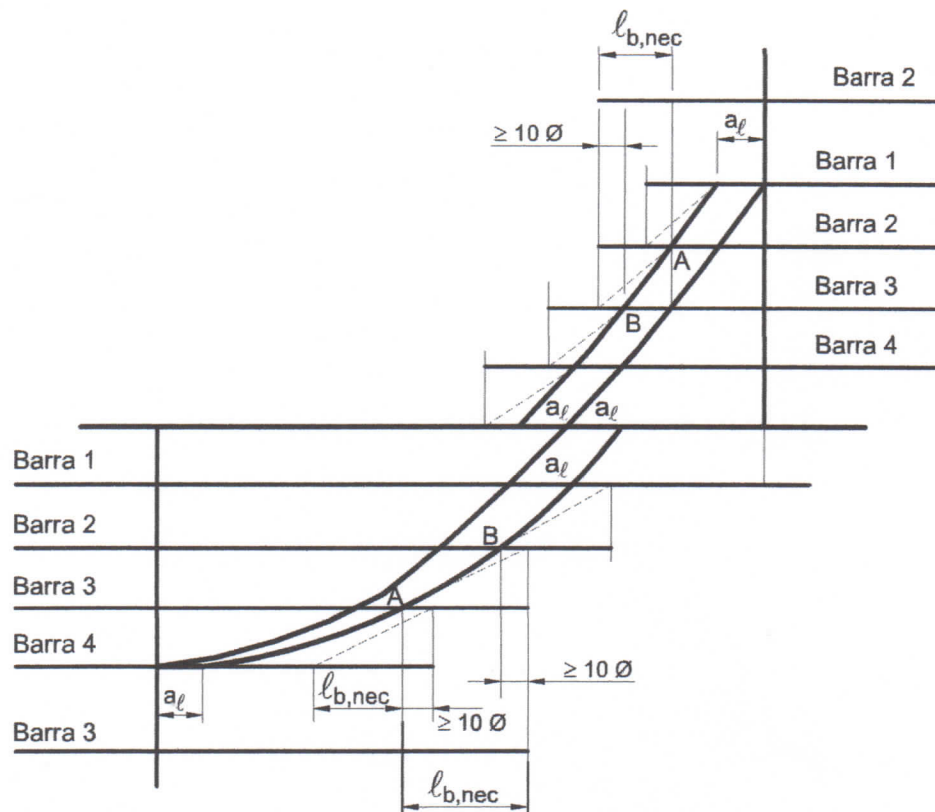


Fig. 29 – Cobertura do diagrama de força de tração solicitante pelo diagrama resistente.

Nos pontos intermediários entre A e B, o diagrama resistente deve cobrir o diagrama solicitante.

No caso de barras alojadas nas mesas ou em lajes, e que façam parte da armadura da viga, o ponto de interrupção da barra é obtido pelo mesmo processo anterior, considerando ainda um comprimento adicional igual à distância da barra à face mais próxima da alma.

7.3 Armadura de Tração nas Seções de Apoio

Os esforços de tração junto aos apoios de vigas simples ou contínuas devem ser resistidos por armaduras longitudinais, que devem satisfazer às condições descritas nos itens seguintes.

7.3.1 Apoio com Momento Fletor Positivo

No caso de ocorrência de momentos fletores positivos no apoio, a armadura deve ser dimensionada para o esforço nessa seção. A ancoragem da armadura no apoio deve atender aos critérios descritos no item 7.1.