

## DETALHAMENTO DAS ARMADURAS:

### Resistência Última de Aderência ( $f_{bd}$ )

(NBR-6118/2003-item 9.3)

A resistência de aderência de cálculo ( $f_{bd}$ ) entre armadura e concreto na ancoragem de armaduras passivas deve ser obtida pela seguinte expressão:

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

Onde:

$$\eta_1 = \begin{cases} 1,00 & \text{para barras lisas (CA-25)} \\ 1,40 & \text{para barras entalhadas (CA-60)} \\ 2,25 & \text{para barras nervuradas (CA-50)} \end{cases}$$

$$\eta_2 = \begin{cases} 1,0 & \text{para zonas de boa aderência} \\ 0,7 & \text{para zonas de má aderência} \end{cases}$$

$$\eta_3 = \begin{cases} 1,0 & \text{para } \phi \leq 32\text{mm} \\ (132-\phi)/100 & \text{para } \phi > 32\text{mm} \end{cases}$$

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot f_{ck}^{2/3}}{\gamma_m} \quad (\text{MPa})$$

### Comprimento de ancoragem básico ( $l_b$ )

(NBR-6118/2003-item 9.4.2.4)

Define-se como comprimento de ancoragem básico ( $l_b$ ) o comprimento reto de uma barra de armadura passiva necessário para ancorar a força limite ( $A_s \cdot f_{yd}$ ) atuante nessa barra:

$$l_b = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}}$$

Onde:

-  $l_b$  = comprimento de ancoragem básico.

-  $\phi$  = diâmetro da barra a ser ancorada.

-  $f_{bd}$  = resistência de aderência.

O comprimento de ancoragem tem início na seção teórica onde sua tensão  $\sigma_s$  começa a diminuir (ponto de início de ancoragem) e deve prolongar-se pelo menos  $10\phi$  além do ponto teórico de tensão  $\sigma_s$  nula (ponto de corte) não podendo em nenhum caso ser inferior ao valor de ( $l_{b,nec}$ ) (item 18.3.2.3.1).

Quando a armadura efetiva for maior do que a armadura calculada, ou houver a presença de ganchos, pode-se empregar o comprimento de ancoragem necessário, dado por:

$$l_{b,nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,cal.}}{A_{s,ef.}} \geq l_{b,min.}, \quad l_{b,min.} > \begin{cases} 0,3 \cdot l_b \\ 10\phi \\ 10 \text{ cm} \end{cases}$$

Onde:

-  $l_{b,nec}$  = comprimento de ancoragem necessário.

-  $l_{b,min.}$  = Valor mínimo permitido por norma.

-  $\phi$  = diâmetro da barra a ser ancorada.

- $\alpha_1 = 1,0$  para barras sem ganchos.
- $\alpha_1 = 0,7$  para barras com ganchos com cobrimento normal ao plano do gancho de pelo menos  $3\phi$ . Ver norma para demais situações.

Se o ponto de início de ancoragem estiver na face do apoio ou além dela (dentro do apoio) e a força  $R_{sd}$  diminuir em direção ao centro do apoio, o trecho de ancoragem deve ser medido a partir da face do apoio, com força a ancorar  $R_{sd}$  dada por (item 18.3.2.3.1):

$$R_{sd} = \frac{V_{sd} \cdot al}{d} \text{ (na flexão simples)}$$

Onde:

- $V_{sd}$  = esforço cortante de cálculo no apoio.
- $al$  = deslocamento do diagrama de  $R_{st}$ .

### Armadura de tração nos apoios

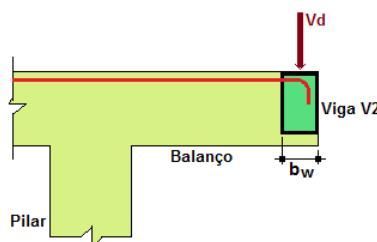
(NBR-6118/2003-item 18.3.2.4)

Os esforços de tração junto aos apoios de vigas devem ser resistidos por armadura longitudinais que satisfazam à mais severa das seguintes condições:

- Resistir aos momentos positivos caso existam.
- Nos apoios extremos, resistir a uma força de tração  $R_{sd}$  para garantir a ancoragem da diagonal de compressão:

$$R_{sd} \geq \frac{al \cdot V_d}{d} \rightarrow (\text{flexão simples})$$

A mesma verificação deverá ser feita nas extremidades de balanços em que atuam cargas concentradas.



- Nos apoios extremos e intermediários, por prolongamento de uma parte da armadura de tração do vão que atenda ao maior dos valores:

$$A_{sa} \geq \begin{cases} \frac{A_{sv\tilde{a}o}}{3} & \rightarrow \text{quando } |M_{apoio}| \leq \frac{M_{v\tilde{a}o}}{2} \\ \frac{A_{sv\tilde{a}o}}{4} & \rightarrow \text{quando } |M_{apoio}| > \frac{M_{v\tilde{a}o}}{2} \end{cases}$$

A armadura mínima necessária nos apoios pode ser obtida a partir da expressão de ( $l_{b,nec}$ ) como indicado abaixo, lembrando que os valores mínimos preconizados por norma devem ser atendidos:

$$l_{b,nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,cal.}}{A_{s,ef.}} \Rightarrow A_{s,nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,cal.}}{l_{b,disponivel.}}$$

### Ancoragem da armadura de tração nos apoios

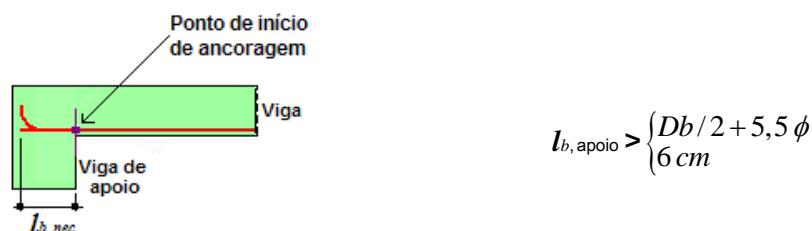
(NBR-6118/2003-item 18.3.2.4.1)

#### i) Apoios extremos:

Para os casos b) e c) anteriores, em apoios extremos, as barras das armaduras devem ser ancoradas a partir da face do apoio, com comprimentos iguais ou superiores a:

$$l_{b,apoio} > \begin{cases} l_{b,nec} \\ Db/2 + 5,5\phi \\ 6\text{ cm} \end{cases}$$

Nos casos em que haja um cobrimento da barra no trecho do gancho, medido normalmente ao plano do gancho, de pelo menos 7cm, e as ações acidentais não ocorram com grande frequência com seu valor máximo, o comprimento de ancoragem medido a partir da face do apoio será dado por:



#### ii) Apoios intermediários:

Para os casos b) e c) anteriores, em apoios intermediários, o comprimento de ancoragem pode ser igual a  $10\phi$ , medido a partir da face do apoio, desde que não haja possibilidade da ocorrência de momentos positivos no apoio (ventos e recalques).

### Decalagem do Diagramma $R_{st}$ :

(NBR-6118/2003-item 17.4.2.2)

Quando no cálculo das armaduras transversais for empregado o modelo de cálculo I, o diagrama da resultante  $R_{st}$  deverá ser decalado de um valor ( $a\ell$ ) como segue:

$$a\ell = d \cdot \left( \frac{V_{sd}}{2(V_{sd} - V_c)} \cdot (1 + \cot g\alpha) - \cot g\alpha \right) \rightarrow \text{modelo I}$$

Com:

$$V_c = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \quad \text{e} \quad f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot f_{ck}^{2/3}}{\gamma_m} (\text{MPa})$$

Onde:

- d = altura útil da viga.
- V<sub>sd</sub> = esforço cortante de cálculo.
- α = inclinação da armadura transversal.

Se α = 90° a expressão anterior fica simplificada à:

$$a\ell = d \cdot \left( \frac{V_{sd}}{2(V_{sd} - V_c)} \right) \rightarrow \text{modelo I}$$

Quando no cálculo das armaduras transversais for empregado o modelo de cálculo II (item 17.4.2.3), o diagrama da resultante R<sub>st</sub> deverá ser decalado de um valor ( $a\ell$ ) como segue:

$$a\ell = 0,50 \cdot d \cdot (\cot g\theta - \cot g\alpha) \rightarrow \text{modelo II}$$

Obs:

- Permanece válida para o modelo II a alternativa dada anteriormente.
- para as barra comprimidas o diagrama de R<sub>sc</sub> não deve ser decalado.

Em todos os casos deve-se observar:

$$a\ell \geq \begin{cases} 0,5 \cdot d & \rightarrow \text{quando forem usados estribos verticais.} \\ 0,2 \cdot d & \rightarrow \text{quando forem usados estribos inclinados.} \end{cases}$$

A NBR-6118/2003 não indica valor máximo para ( $a\ell$ ). Porém, com base na análise da expressão de ( $a\ell$ ), modelo I, e da limitação na norma anterior, pode-se adotar:

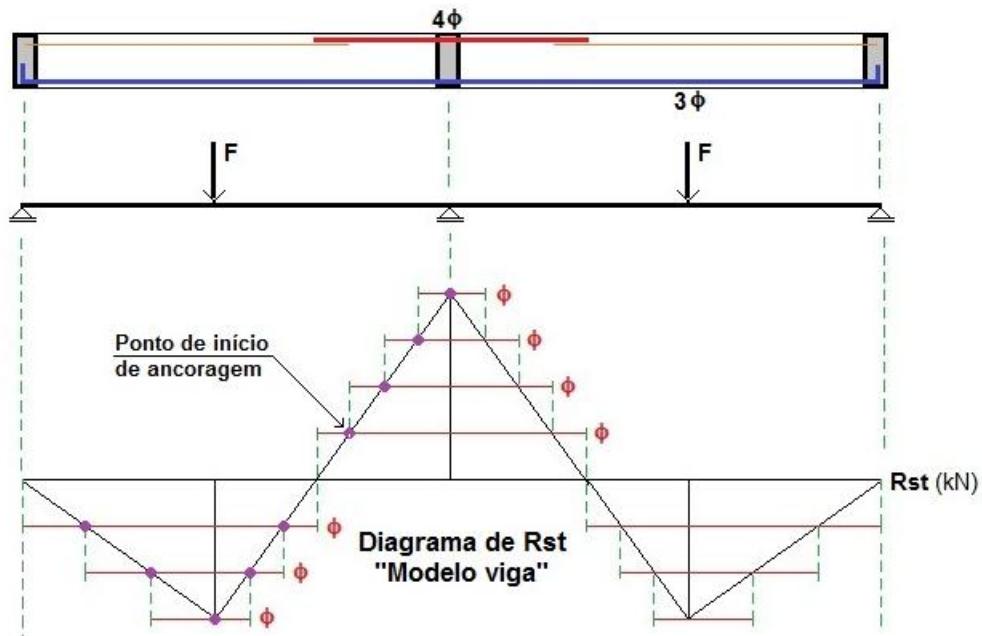
$$a\ell \leq d$$

## Cobrimento do diagrama de R<sub>st</sub>

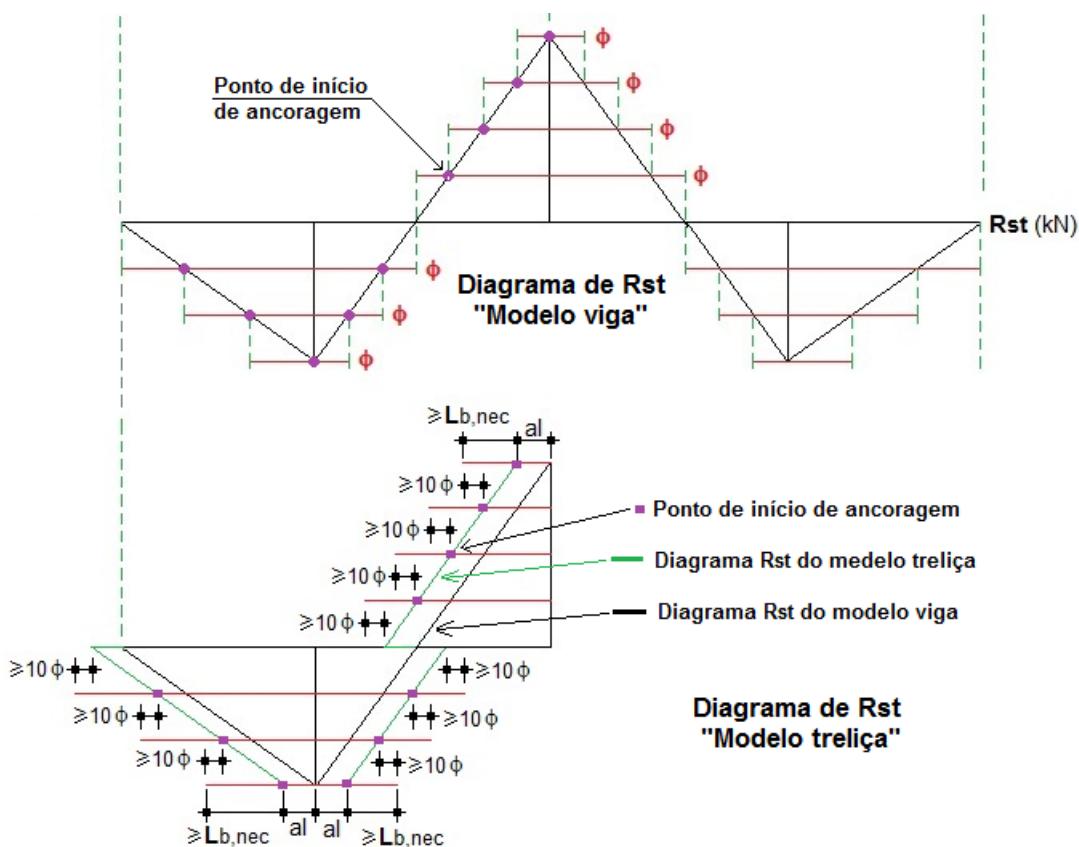
(NBR-6118/2003-item)

Uma vez obtidas as armaduras de flexão, teóricas e de projeto, deve-se definir o ponto de corte de cada barra de aço, ou seja, o ponto em que teoricamente a tensão na mesma seja nula. Esse procedimento se aplica para as barras tracionadas e comprimidas. Para tal, o primeiro procedimento é estabelecer os pontos de início de ancoragem de cada barra.

Esse procedimento pode ser feito graficamente, conforme indicado na figura abaixo, que consiste em traçar o diagrama de R<sub>st</sub> para toda a viga. Em cada pico do diagrama, faz-se a divisão em igual número de barras de aço correspondentes aquele ponto, proporcionalmente à área de cada barra, definindo-se nos pontos gerados pelos encontros das linhas horizontais que representam as barras com a linha de fechamento do diagrama, o ponto de Início de Ancoragem.



Contudo, considerando a formação de um sistema de bielas comprimidas de concreto no interior da viga, a NBR-6118 determina um ajuste nesse procedimento para as barras tracionadas, que consiste no deslocamento das linhas de fechamento do diagrama de  $R_{st}$  de um valor  $\alpha l$  (decalagem do diagrama), conforme indicado abaixo:



Dessa forma, o ponto de corte de cada barra será definido a partir do novo ponto de início de ancoragem, respeitando-se o comprimento de ancoragem ( $l_{b,nec}$ ) de cada barra, além de garantir que ela passe o ponto de tensão nula em pelo menos  $10.\phi$ .

Observa-se que para as barra comprimidas não existe a necessidade da decalagem do diagrama.