

## Blocos sobre Estacas

Para verificar blocos sobre uma estaca, a verificação das tensões nos blocos de concreto e o dimensionamento das armaduras são baseados no método de Blèvot ou dois métodos baseados em (Fusco, 1994).

Para verificar blocos de 2 a 7 estacas, a verificação das tensões nos blocos de concreto e o dimensionamento das armaduras são baseados no método de Blèvot, dois métodos baseados em (Fusco, 1994) ou MBT (método das bielas e tirantes) comentários do Ibracon (ABNT NBR 6118:2014 Comentários e exemplos de aplicação, 2015).

Para verificar blocos de 7 a 24 estacas, a verificação das tensões nos blocos de concreto e o dimensionamento das armaduras são baseados no método de Blèvot, dois métodos baseados em (Fusco, 1994), MBT (método das bielas e tirantes) comentários do Ibracon (ABNT NBR 6118:2014 Comentários e exemplos de aplicação, 2015).

ou no método do CEB-FIP.

## Capacidade de carga nas estacas

Para dimensionar os blocos sobre estacas, o programa considera todas as combinações presentes na envoltória para fundações (ELU2).

A partir destes esforços, o programa calcula as forças normais sobre as estacas, utilizando a fórmula abaixo:

$$FE_i = \left( -\frac{M_{x^*}}{\sum_{j=1}^{n_e} I_{x,e,j}} \cdot y_i \cdot A_e + \frac{M_{y^*}}{\sum_{j=1}^{n_e} I_{y,e,j}} \cdot x_i \cdot A_e \right) + \left( \frac{N_k + PP}{n_e} \right)$$

$$M_{x^*} = M_{x,k} - F_{y,k} \cdot \text{Alt}$$

$$M_{y^*} = M_{y,k} + F_{x,k} \cdot \text{Alt}$$

Onde:

$n_e$ : número de estacas;

$N_k$ : Esforço normal característico;

$PP$ : Peso próprio do bloco;

$M_{x,k}$ : Momento em torno do eixo x característico;

$M_{y,k}$ : Momento em torno do eixo y característico;

$F_{y,k}$ : Força cortante na direção y característica;

$F_{x,k}$ : Força cortante na direção x característica;

$\text{Alt}$ : Altura do bloco sobre estacas;

$I_{x,e,j}$ : Momento de inércia da estaca j com relação ao eixo Ycg;

$I_{y,e,j}$ : Momento de inércia da estaca j com relação ao eixo Xcg;

$y_i$ : Coordenada da estaca i em relação ao centro de gravidade do bloco na direção Y;

$x_i$ : Coordenada da estaca i em relação ao centro de gravidade do bloco na direção X;

$A_e$ : área das estacas.

No relatório de dimensionamento, o programa irá apresentar três informações importantes para o engenheiro estrutural:

F<sub>mn</sub>: Força normal característica mínima observada na(s) estaca(s);

F<sub>mx</sub>: Força normal característica máxima observada na(s) estaca(s);

F<sub>Eq</sub>: Força normal característica máxima observada na(s) estaca(s) multiplicada pelo número de estacas.

## Estimativa de altura útil

A altura útil, que é usada para o dimensionamento de blocos, pode ser estimada como um fator ou como subtraindo.

$$d = \text{COEFRED} \cdot (\text{ALT} - \text{ALTB})$$

$$d = (\text{ALT} - \text{ALTB} - \text{DIST})$$

Onde:

d: Altura útil do bloco;

COEFRED: Coeficiente de redução;

ALT: Altura total do bloco;

ALTB: Altura de entrada da estaca no bloco;

DIST: Distância do topo da estaca até o centro de gravidade da armadura de tração.

Para blocos de 7 a 24 estacas, pelo método CEB-FIP, a altura útil é obtida pela expressão  $(a - b - c - 1,25 \text{ cm})$ , onde:

a = altura do bloco;

b = extensão da entrada da estaca no bloco;

c = cobrimento definido.

Este valor será adotado para todos os blocos sobre estacas e, dependendo do valor adotado, o resultado do dimensionamento pode estar contra a segurança.

## Consideração sobre a forma do pilar

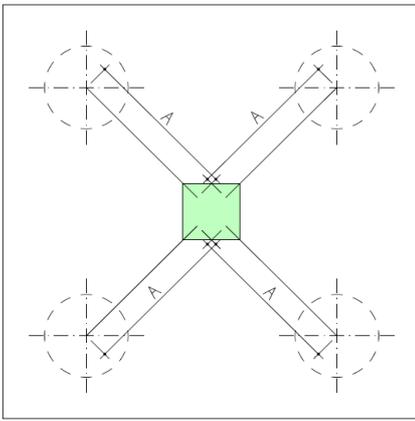
Para calcular o ângulo da biela de compressão e a armadura principal do bloco sobre estacas, deve-se calcular a distância do pilar ao centro das estacas.

Para blocos de duas estacas e blocos retangulares de 4 a 24 estacas, é possível alterar a maneira que o programa considera a seção transversal do pilar.

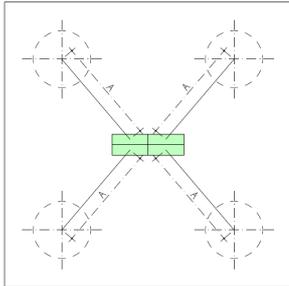
Ao realizar esta mudança, o programa irá alterar a maneira de calcular a distância do pilar ao centro das estacas e, conseqüentemente, irá alterar a forma de calcular a inclinação da biela de compressão e a armadura principal dos blocos.

Para estes blocos, o programa apresenta as seguintes maneiras de considerar a seção transversal do pilar:

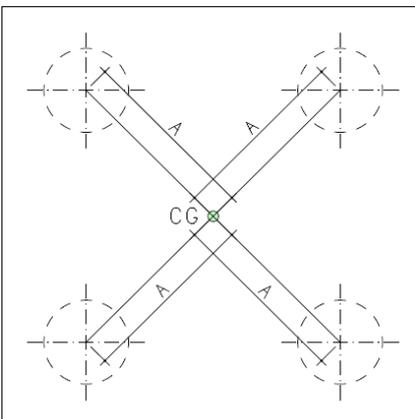
Quadrado equivalente



Retangular



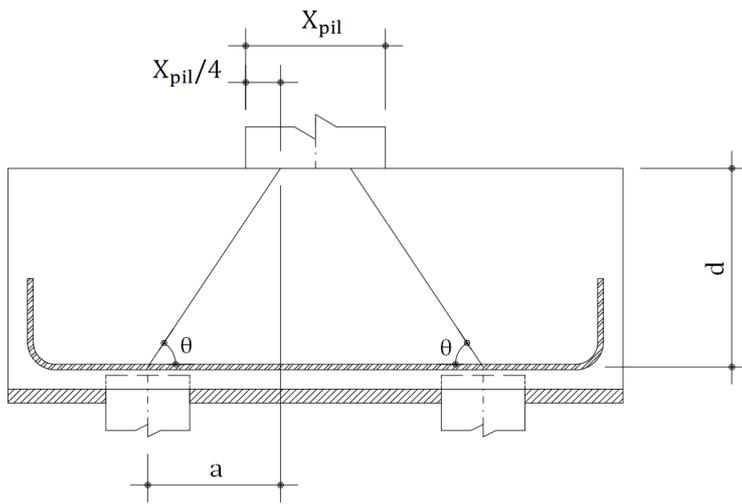
Nenhuma



No caso dos blocos de três estacas triangular, cinco estacas pentagonal, cinco estacas disposição 2-3 e seis estacas hexagonal, é possível considerar a seção transversal do pilar como um quadrado equivalente ou a opção nenhuma.

## Método de Blèvot

Para bloco de duas estacas, admite-se como modelo resistente, no interior dos blocos de concreto, a treliça indicada abaixo onde barras comprimidas são resistidas pelo concreto e as barras tracionadas pela armadura de aço:



De acordo com método, para o bloco ser rígido, o ângulo de inclinação da biela comprimida deve ser superior a 45°. Para calcular a tensão biela pilar\* (0.1), a tensão biela estaca (0.2), a tensão limite biela pilar (0.3) e a tensão limite biela estaca (0.3), utilizam-se as fórmulas indicadas abaixo:

$\text{Tenspil} = \frac{\gamma_f \cdot \gamma_n \cdot (\text{FEq} - \text{PP})}{A_p \cdot (\text{sen}\theta)^2} (*)$	(0.1)
$\text{TensEst} = \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{\text{FEq}}{n \cdot \left( \frac{\pi \cdot (\phi + 2 \cdot [\Delta])^2}{4} \right) \cdot \text{sen}^2\theta} \right)$	(0.2)
$\text{TensLimP} = \text{TensLimE} = \chi_e \cdot k_r \cdot f_{cd}$	(0.3)

\*Obs.: A tensão biela pilar é calculada conforme a fórmula indicada acima ou conforme a fórmula indicada no capítulo 3.9 que muda de acordo com a quantidade e disposição de estacas.

Onde:

$\gamma_f$ : Coeficiente ponderador das ações;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

$A_p$ : Área do pilar;

FEq: Força normal característica máxima observada na(s) estaca(s) multiplicada pelo número de estacas;

PP: peso próprio do bloco sobre estacas;

$\theta$ : Ângulo da biela de compressão.

$n$ : Número de estacas;

$\phi$ : Diâmetro das estacas.

$\chi_e$ : Majorador da tensão admissível;

$k_r$ : Coeficiente do efeito Rusch;

$f_{cd}$ : Resistência de cálculo do concreto;

A armadura principal é calculada conforme a figura abaixo mostra:

$$A_s = \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{FEq}{f_{yd}} \right) \cdot \left( \frac{a}{d} \right)$$

Onde:

$\gamma_f$ : Coeficiente ponderador das ações;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

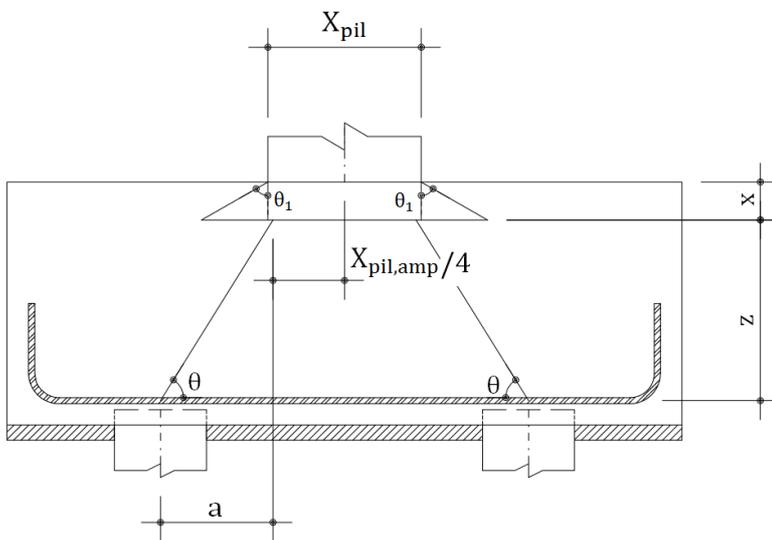
$f_{yd}$ : Resistência de cálculo do aço;

d: altura útil;

A: Distância do centro das estacas ao pilar. Esta distância varia de acordo com a quantidade de estacas no bloco.

## Método A (Fusco, 1994)

Para bloco de duas estacas, utiliza-se um modelo de treliça para dimensionar armaduras e outro modelo para verificar as tensões na área ampliada, a tensão biela pilar e a tensão biela estaca.



A partir das equações das páginas 344 a 346 de (Fusco, 1994), concluímos que a profundidade x é igual:

$$\left( \frac{x}{b} \right) = \frac{(1 + \alpha)}{4 \cdot \tan \theta_1} \left[ -1 + \sqrt{1 - \frac{4\alpha \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{1}{\gamma_n} - \frac{\rho \cdot f_{yd}}{0,20 \cdot f_{cd}} - \frac{0,85}{0,20} \right)}{(1 + \alpha)^2}} \right]$$

Onde:

b: Representa a menor dimensão do pilar;

$\alpha$ : Representa a relação entre a maior dimensão do pilar e a menor dimensão do pilar;

$\rho$ : Representa a taxa de armadura do arranque;

$f_{yd}$ : Representa a resistência de cálculo da armadura do arranque;

$f_{cd}$ : Representa a resistência de cálculo do concreto utilizado no bloco sobre estacas;

$\theta_1$ : Representa o ângulo de espraio das tensões;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

A profundidade x é limitada por:

$\frac{x}{b} = \frac{(1 + \alpha)}{4 \cdot \tan 63,4^\circ} \left[ -1 + \sqrt{1 - \frac{4\alpha \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{1}{\gamma_n} - \frac{\rho \cdot f_{yd}}{0,20 \cdot f_{cd}} - \frac{0,85}{0,20} \right)}{(1 + \alpha)^2}} \right] \quad (1)$	
$\left( \frac{x}{Alt} \right) \leq 0,5 \quad (2)$	

Onde:

b: Representa a menor dimensão do pilar;

$\alpha$ : Representa a relação entre a maior dimensão do pilar e a menor dimensão do pilar;

$\rho$ : Representa a taxa de armadura do arranque;

$f_{yd}$ : Representa a resistência de cálculo da armadura do arranque;

$f_{cd}$ : Representa a resistência de cálculo do concreto utilizado no bloco sobre estacas.

Alt: Altura do bloco sobre estacas;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

De acordo com método, o ângulo de inclinação da biela comprimida deve ser superior a 34°.

Para calcular a tensão na área ampliada (3.6.4), a tensão biela pilar (3.6.5), a tensão biela estaca (3.6.6), a tensão limite na área ampliada (3.6.7), a tensão limite biela pilar (3.6.8) e a tensão limite biela estaca (3.6.9), utilizam-se as fórmulas indicadas abaixo:

$X_{pil,amp} = X_{pil} + 2 \cdot x \cdot \tan \theta_1 \leq [0,85] \cdot X_{bl}$	(3.6.1)
$Y_{pil,amp} = Y_{pil} + 2 \cdot x \cdot \tan \theta_1 \leq [0,85] \cdot Y_{bl}$	(3.6.2)
$A_{c,ampliada} = X_{pil,amp} \cdot Y_{pil,amp}$	(3.6.3)
$Tens_{,amp} = \frac{\gamma_f \cdot \gamma_n \cdot FEq}{A_{c,amp}}$	(3.6.4)
$Tens_{pil} = \frac{\gamma_f \cdot \gamma_n \cdot (FEq - PP)}{A_{c,ampliada} \cdot (\text{sen}\theta)^2}$	(3.6.5)
$Tens_{Est} = \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{FEq}{n \cdot \left( \frac{\pi \cdot (\phi + 2 \cdot [\Delta])^2}{4} \right) \cdot \text{sen}^2\theta} \right)$	(3.6.6)
$Tens_{,amp,lim} = 0,20 \cdot f_{cd}$	(3.6.7)
$Tens_{LimP} = [0,85] \cdot [\alpha_{v2}] \cdot f_{cd}$	(3.6.8)
$Tens_{LimE} = [0,72] \cdot [\alpha_{v2}] \cdot f_{cd}$	(3.6.9)

Onde:

$X_{pil}$ : Dimensão X do pilar;

$Y_{pil}$ : Dimensão Y do pilar;

$\theta_1$ : Representa o ângulo de espraçamento das tensões;

x: profundidade de espraçamento das tensões;

$X_{bl}$ : Dimensão X do bloco;

$Y_{bl}$ : Dimensão Y do bloco;

[0,85]: Critério de dimensão da área ampliada;

$\gamma_f$ : Coeficiente ponderador das ações;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

FEq: Força normal característica máxima observada na(s) estaca(s) multiplicada pelo número de estacas;

PP: peso próprio do bloco sobre estacas;

$\theta$ : Ângulo da biela de compressão.

n: Número de estacas;

$\phi$ : Diâmetro das estacas;

$\Delta$ : Delta para considerar na área ampliada da estacam em cm;

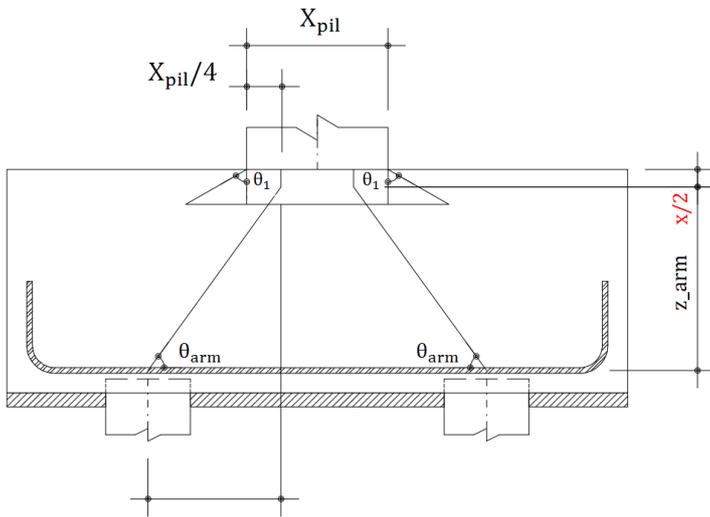
$f_{cd}$ : Resistência de cálculo do concreto.

0,85: Critério multiplicador para resistência da biela junto ao pilar;

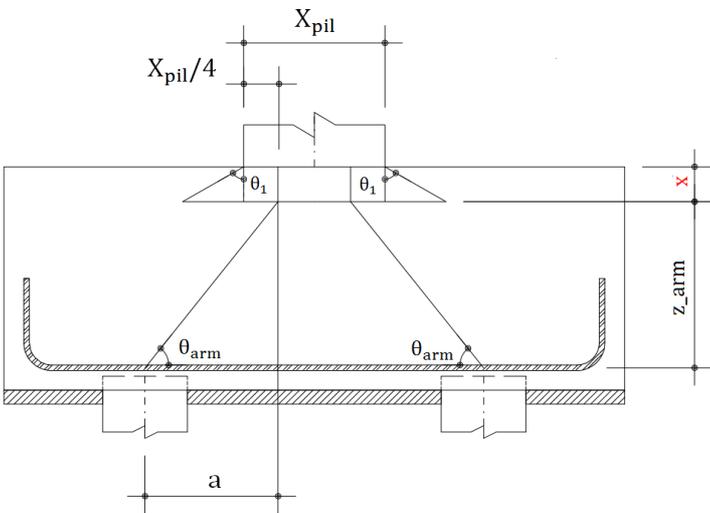
$\alpha_{v2}$ :  $(1 - f_{ck}/250)$ , com  $f_{ck}$  em megapascal;

0,72: Critério multiplicador para resistência da biela junto à estaca;

Para dimensionar as armaduras, utiliza-se o modelo indicado abaixo:



OU:



A armadura principal é calculada conforme a figura abaixo mostra:

$$A_s = \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{FEq}{f_{yd}} \right) \cdot \left( \frac{a}{z_{arm}} \right)$$

Onde:

$\gamma_f$ : Coeficiente ponderador das ações;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

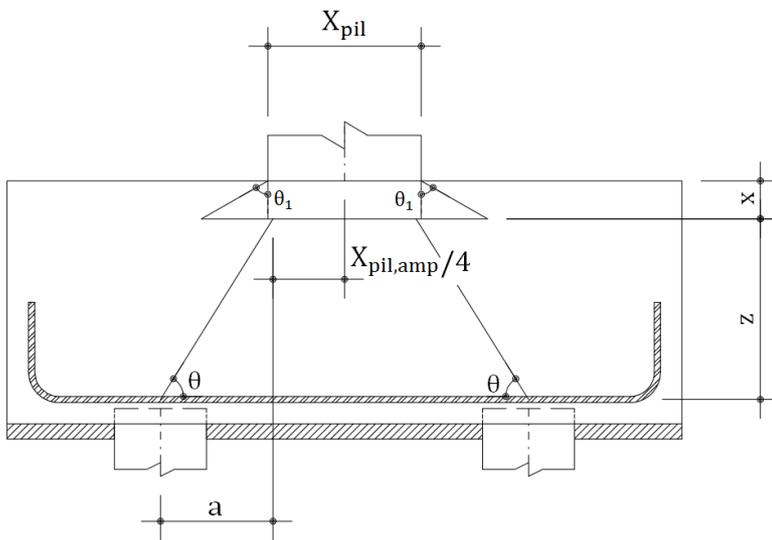
$f_{yd}$ : Resistência de cálculo do aço;

d: altura útil;

A: Distância do centro das estacas ao pilar. Esta distância varia de acordo com a quantidade de estacas no bloco.

## Método B (Fusco, 1994)

Para bloco de duas estacas, utiliza-se um modelo de treliça para dimensionar armaduras e outro modelo para verificar a tensão biela pilar e a tensão biela estaca.



Neste método, estima-se que a profundidade  $x$  é o local onde a tensão na área ampliada é igual 20% da resistência do concreto.

Tendo em vista esta premissa, calcula-se a profundidade  $x$ , utilizando a fórmula abaixo:

$$x = \frac{(X_{pil} + Y_{pil})}{4 \cdot \tan \theta_1} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot \left( X_{pil} \cdot Y_{pil} - \frac{5 \cdot N_k \cdot \gamma_n \cdot \gamma_f}{f_{cd}} \right)}{(X_{pil} + Y_{pil})^2}} \right)$$

Onde:

$X_{pil}$ : Dimensão X do pilar;

$Y_{pil}$ : Dimensão Y do pilar;

$f_{cd}$ : Resistência de cálculo do concreto;

$\gamma_f$ : Coeficiente ponderador das ações;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

$N_k$ : Esforço normal característico;

$\theta_1$ : Ângulo de espraio das tensões sob o pilar.

A profundidade  $x$  é limitada por:

$$\left( \frac{x}{Alt} \right) \leq 0,5$$

Onde:

Alt: Altura do bloco sobre estacas.

De acordo com método, o ângulo de inclinação da biela comprimida deve ser superior a 34°.

Para calcular a tensão biela pilar (3.7.4), a tensão biela estaca (3.7.5), a tensão limite biela pilar (3.7.6) e a tensão limite biela (3.7.7) estaca, utilizam-se as fórmulas indicadas abaixo:

$X_{pil,amp} = X_{pil} + 2 \cdot x \cdot \tan \theta_1 \leq [0,85] \cdot X_{bl}$	(3.7.1)
$Y_{pil,amp} = Y_{pil} + 2 \cdot x \cdot \tan \theta_1 \leq [0,85] \cdot Y_{bl}$	(3.7.2)
$A_{c,ampliada} = X_{pil,amp} \cdot Y_{pil,amp}$	(3.7.3)

$\text{Tenspil} = \frac{\gamma_f \cdot \gamma_n \cdot (FEq - PP)}{A_{c,ampliada} \cdot (\text{sen}\theta)^2}$	(3.7.4)
$\text{TensEst} = \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{FEq}{n \cdot \left( \frac{\pi \cdot (\phi + 2 \cdot [\Delta])^2}{4} \right) \cdot \text{sen}^2\theta} \right)$	(3.7.5)
$\text{TensLimP} = [0,85] \cdot [\alpha_{v2}] \cdot f_{cd}$	(3.7.6)
$\text{TensLimE} = [0,72] \cdot [\alpha_{v2}] \cdot f_{cd}$	(3.7.7)

Onde:

$X_{pil}$ : Dimensão X do pilar;

$Y_{pil}$ : Dimensão Y do pilar;

x: Profundidade do espraio de tensões;

$X_{bl}$ : Dimensão X do bloco;

$Y_{bl}$ : Dimensão Y do bloco;

$\theta_1$ : Ângulo de espraio das tensões sob o pilar;

[0,85]: Critério de dimensão da área ampliada;

$\gamma_f$ : Coeficiente ponderador das ações;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

$A_{c,ampliada}$ : Área ampliada;

FEq: Força normal característica máxima observada na(s) estaca(s) multiplicada pelo número de estacas;

PP: peso próprio do bloco sobre estacas;

$\theta$ : Ângulo da biela de compressão.

n: Número de estacas;

$\phi$ : Diâmetro das estacas;

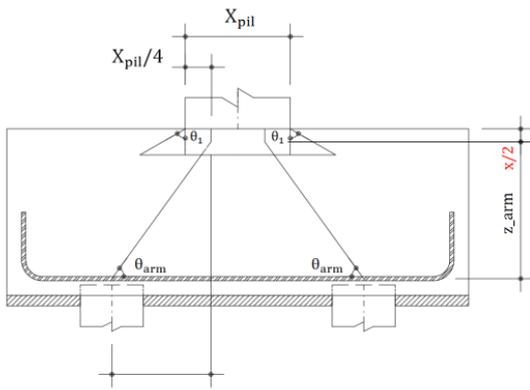
$\Delta$ : Delta para considerar na área ampliada da estaca em cm;

0,85: Critério multiplicador para resistência da biela junto ao pilar;

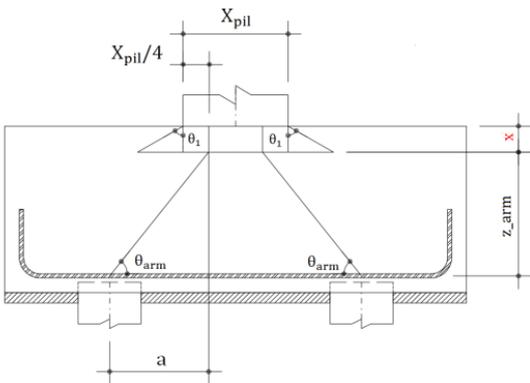
$\alpha_{v2}$ :  $(1 - f_{ck}/250)$ , com  $f_{ck}$  em megapascal;

0,72: Critério multiplicador para resistência da biela junto à estaca;

Para dimensionar as armaduras, utiliza-se o modelo indicado abaixo:

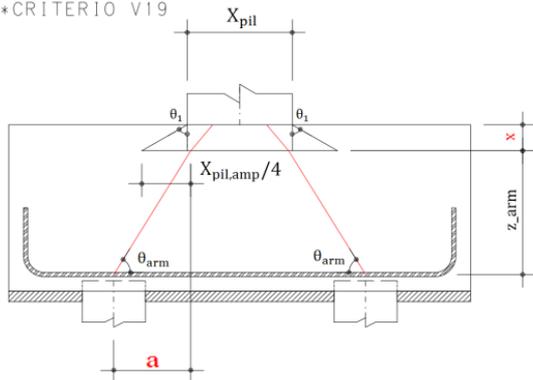


OU:



OU:

\*CRITERIO V19



A armadura principal é calculada conforme a figura abaixo mostra:

$$A_s = \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{FEq}{f_{yd}} \right) \cdot \left( \frac{a}{z_{arm}} \right)$$

Onde:

$\gamma_f$ : Coeficiente ponderador das ações;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

$f_{yd}$ : Resistência de cálculo do aço;

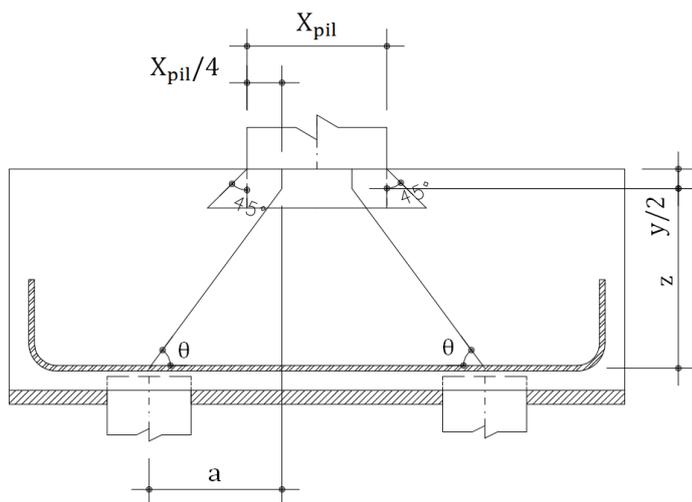
d: altura útil;

A: Distância do centro das estacas ao pilar. Esta distância varia de acordo com a quantidade de estacas no bloco.

## MBT

O MBT ou Método de Bielas e Tirantes é baseado nos Comentários do Ibracon (ABNT NBR 6118:2014 Comentários e exemplos de aplicação, 2015).

Para bloco de duas estacas, admite-se como modelo resistente, no interior dos blocos de concreto, a treliça indicada abaixo onde barras comprimidas são resistidas pelo concreto e as barras tracionadas pela armadura de aço:



A profundidade  $y$  consiste no ponto onde a tensão biela pilar é igual à tensão biela pilar limite, considerando um ângulo de espraio de tensões sob o pilar a  $45^\circ$ .

A profundidade  $y$  é limitada por:

$$\left(\frac{x}{Alt}\right) \leq 0,5$$

Onde:

Alt: Altura do bloco sobre estacas.

De acordo com método, o ângulo de inclinação da biela comprimida deve ser superior a  $34^\circ$ .

Para calcular a tensão biela pilar (3.8.4), a tensão biela estaca (3.8.5), a tensão limite biela pilar (3.8.6) e a tensão limite biela (3.8.7) estaca, utilizam-se as fórmulas indicadas abaixo:

$X_{pil,amp} = X_{pil} + 2 \cdot y \leq [0,85] \cdot X_{bl}$	(3.8.1)
$Y_{pil,amp} = Y_{pil} + 2 \cdot y \leq [0,85] \cdot Y_{bl}$	(3.8.2)
$A_{c,ampliada} = X_{pil,amp} \cdot Y_{pil,amp}$	(3.8.3)
$Tens_{pil} = \frac{Y_f \cdot \gamma_n \cdot (FEq - PP)}{A_{c,ampliada} \cdot (\text{sen}\theta)^2}$	(3.8.4)
$Tens_{Est} = Y_f \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{FEq}{n \cdot \left( \frac{\pi \cdot (\phi + 2 \cdot [\Delta])^2}{4} \right) \cdot \text{sen}^2\theta} \right)$	(3.8.5)
$Tens_{LimP} = [0,85] \cdot [\alpha_{v2}] \cdot f_{cd}$	(3.8.6)
$Tens_{LimE} = [0,72] \cdot [\alpha_{v2}] \cdot f_{cd}$	(3.8.7)

Onde:

$X_{pil}$ : Dimensão X do pilar;

$Y_{pil}$ : Dimensão Y do pilar;

$x$ : Profundidade do espraio de tensões;

$X_{bl}$ : Dimensão X do bloco;

$Y_{bl}$ : Dimensão Y do bloco;

$\theta_1$ : Ângulo de espraçamento das tensões sob o pilar;

[0,85]: Critério de dimensão da área ampliada;

$\gamma_f$ : Coeficiente ponderador das ações;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

$A_{c, ampliada}$ : Área ampliada;

FEq: Força normal característica máxima observada na(s) estaca(s) multiplicada pelo número de estacas;

PP: peso próprio do bloco sobre estacas;

$\theta$ : Ângulo da biela de compressão.

$n$ : Número de estacas;

$\phi$ : Diâmetro das estacas;

$\Delta$ : Delta para considerar na área ampliada da estacam em cm;

0,85: Critério multiplicador para resistência da biela junto ao pilar;

$\alpha_{v2}$ :  $(1 - f_{ck}/250)$ , com  $f_{ck}$  em megapascal;

0,72: Critério multiplicador para resistência da biela junto à estaca;

A armadura principal é calculada conforme a figura abaixo mostra:

$$A_s = \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{FEq}{f_{yd}} \right) \cdot \left( \frac{a}{z} \right)$$

Onde:

$\gamma_f$ : Coeficiente ponderador das ações;

$\gamma_n$ : Coeficiente adicional ponderador das ações;

$f_{yd}$ : Resistência de cálculo do aço;

d: altura útil;

A: Distância do centro das estacas ao pilar. Esta distância varia de acordo com a quantidade de estacas no bloco.