

CAPACITA CIVIL

TREINAMENTOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Promoção



CREA-CE
Conselho Regional de Engenharia
e Agronomia do Ceará

Realização



Fundação
Demócrito Rocha
37 anos

Fundações Indiretas e Contenções

Renato Evangelisa Luna Cruz

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (2012) e mestre em Estruturas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2015). Experiência no desenvolvimento de projetos estruturais em concreto armado e protendido de empreendimentos verticais. Fundador da Escola de Estruturas, escola online voltada ao ensino de Engenharia Estrutural.

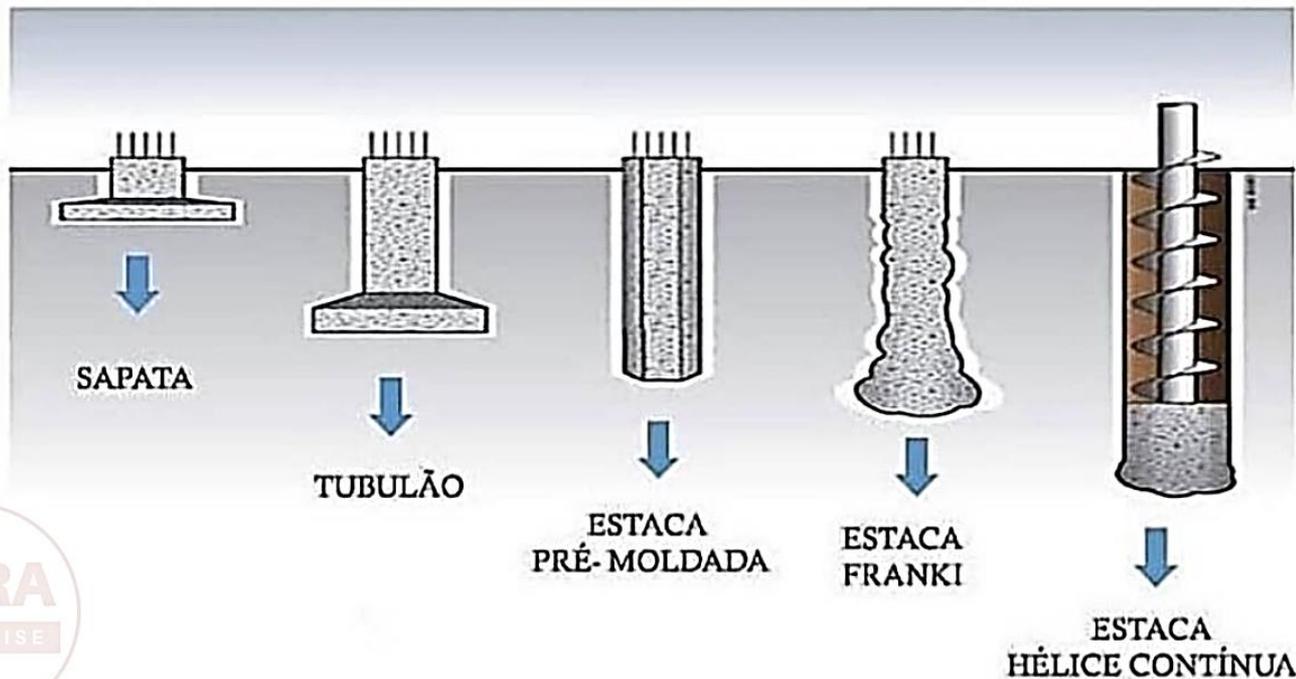
Sistema Estrutura Como é composto

- Superestrutura
- Infraestrutura
- Solo competente

O que são Fundações

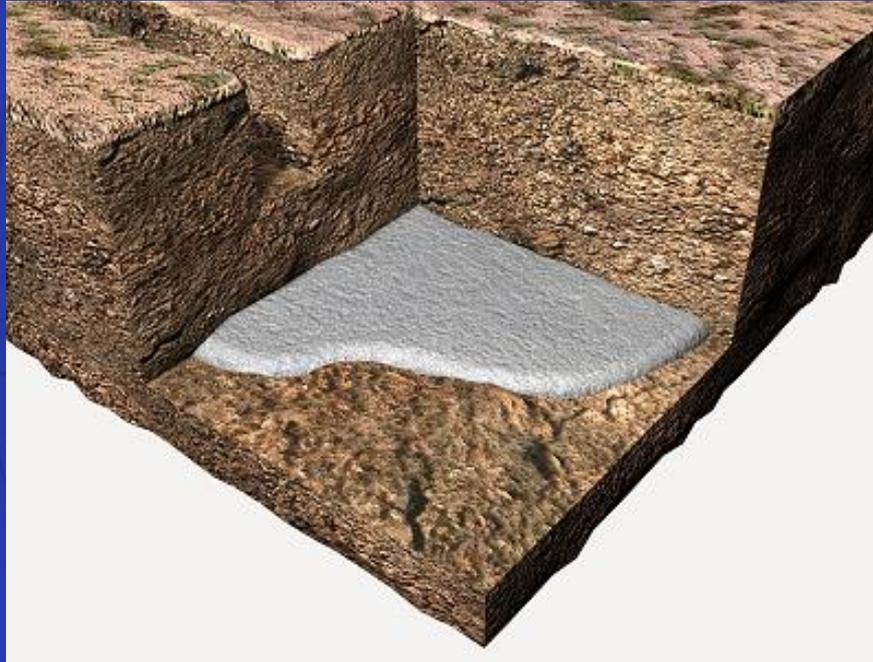
São elementos responsáveis por absorver os esforços provenientes da superestrutura e transferir ao solo com capacidade de carga compatível às solicitações.

TIPOS DE FUNDAÇÕES



Orientações Técnicas

A NBR 6122 preconiza a execução de lastro de concreto magro com espessura mínima de 5 cm na base dos elementos de fundação.



Sondagem

O que é?

É um meio de se conhecer qual a tipologia dos solos onde irá se executar a fundação, reconhecer seu perfil geotécnico e conhecer a existência de nível de água no subsolo. Através das informações contidas em seu relatório, o profissional de geotecnia consegue julgar as melhores soluções para os casos em particular.

Sondagem

Quantidade de furos (NBR 8036)

4.1.1.2 As sondagens devem ser, no mínimo, de uma para cada 200 m² de área da projeção em planta do edifício, até 1200 m² de área. Entre 1200 m² e 2400 m² deve-se fazer uma sondagem para cada 400 m² que excederem de 1200 m². Acima de 2400 m² o número de sondagens deve ser fixado de acordo com o plano particular da construção. Em quaisquer circunstâncias o número mínimo de sondagens deve ser:

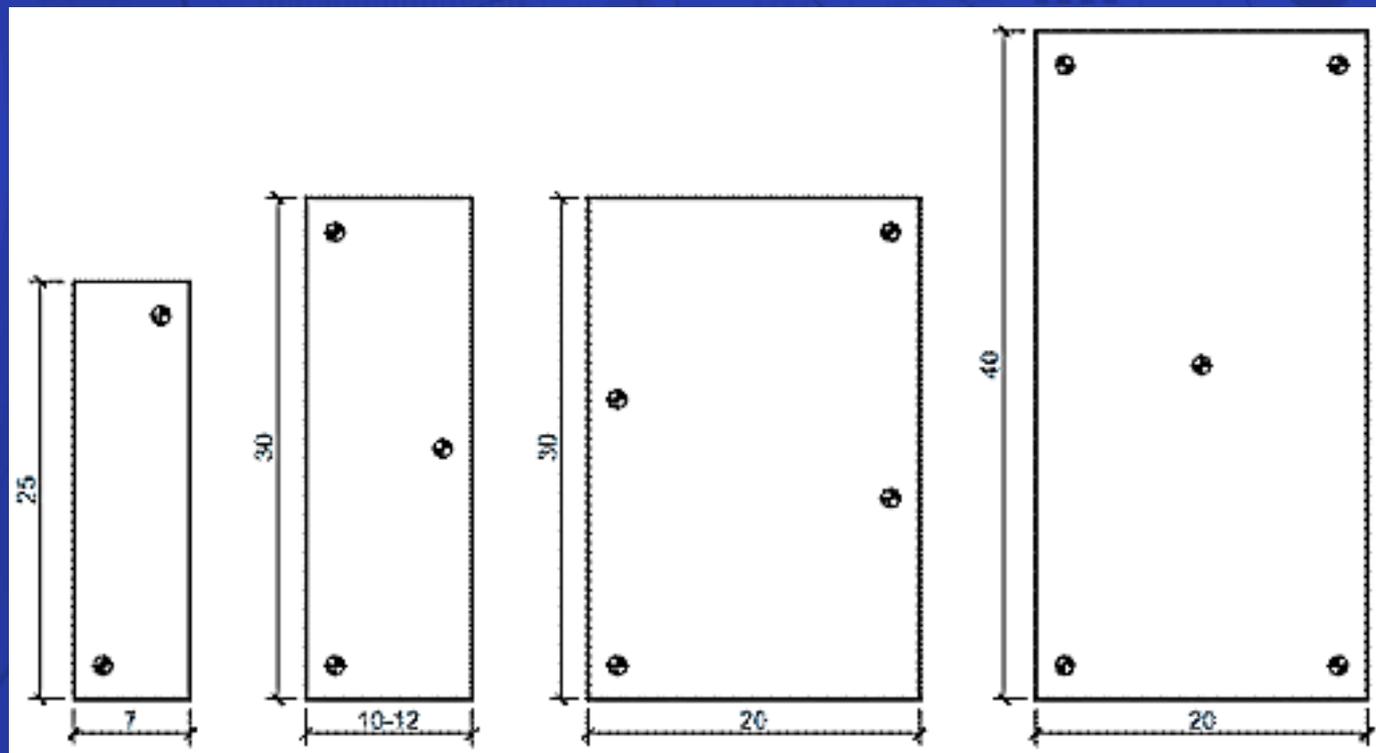
- a) dois para área da projeção em planta do edifício até 200 m²;
- b) três para área entre 200 m² e 400 m².

Sondagem

Cuidado

Por mais que a área em estudo exija o mínimo de apenas uma sondagem, NUNCA faça apenas uma, pois devido a grande possibilidade de variabilidade do solo até mesmo em pequenas distâncias, o resultado de apenas uma sondagem pode trazer um resultado muito impreciso.

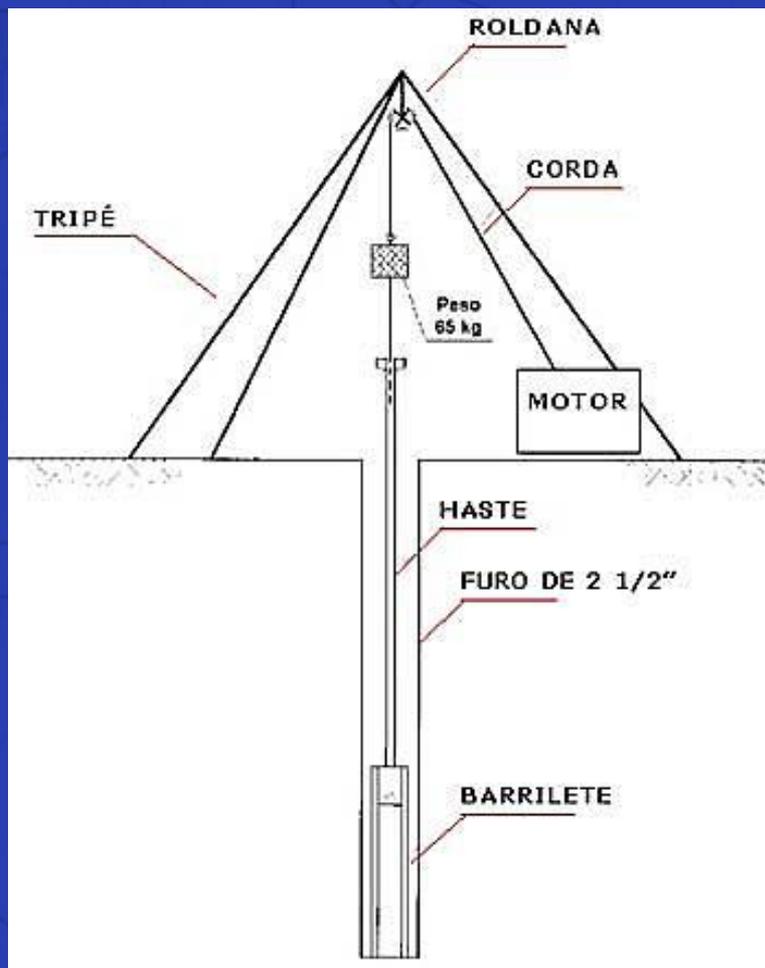
Sondagem



EM TODOS OS CASOS, NÃO ADIANTA UM RELATÓRIO DE SONDAGEM PRECISO SE O PROFISSIONAL NÃO SABE INTERPRETAR CORRETAMENTE SUAS INFORMAÇÕES.

Interpretação Relatório SPT

Equipamento



Bloco sobre Estacas

Modelo das Bielas e Tirantes

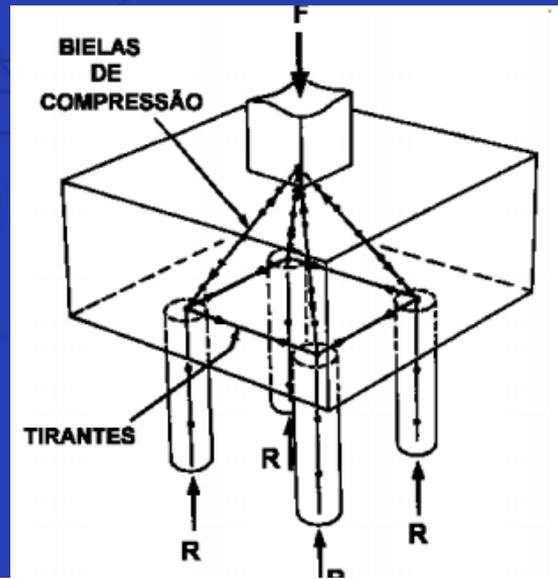
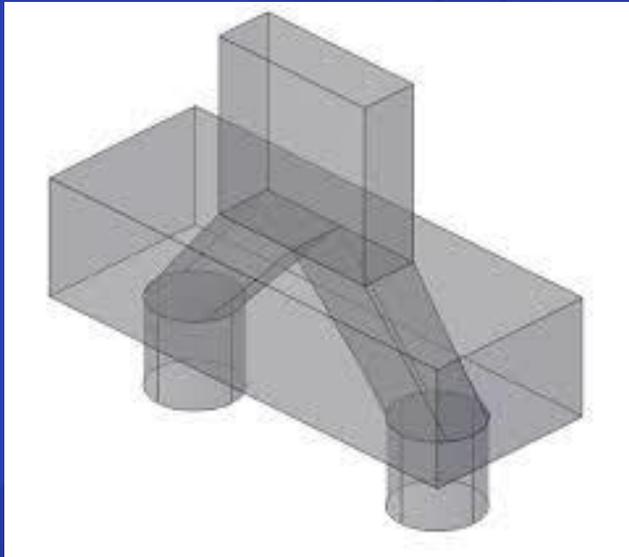


Fig. 1. Fissuras de ruptura decedendo da biela de tração no topo.

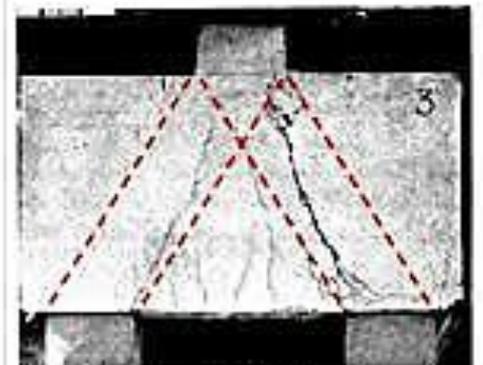
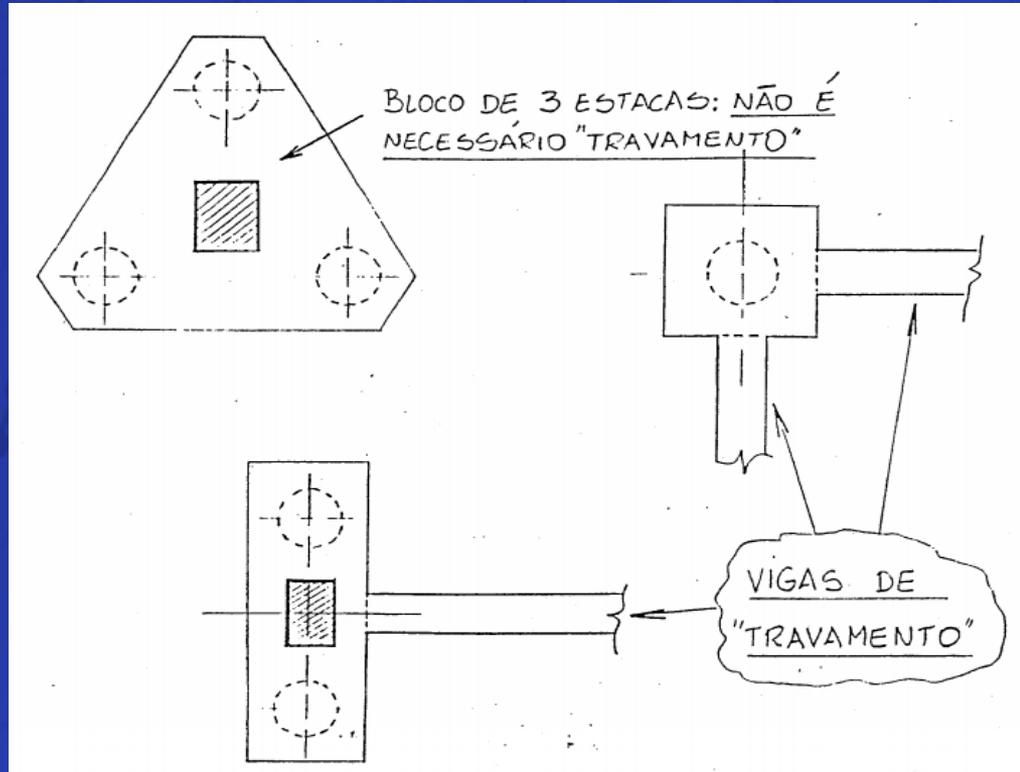


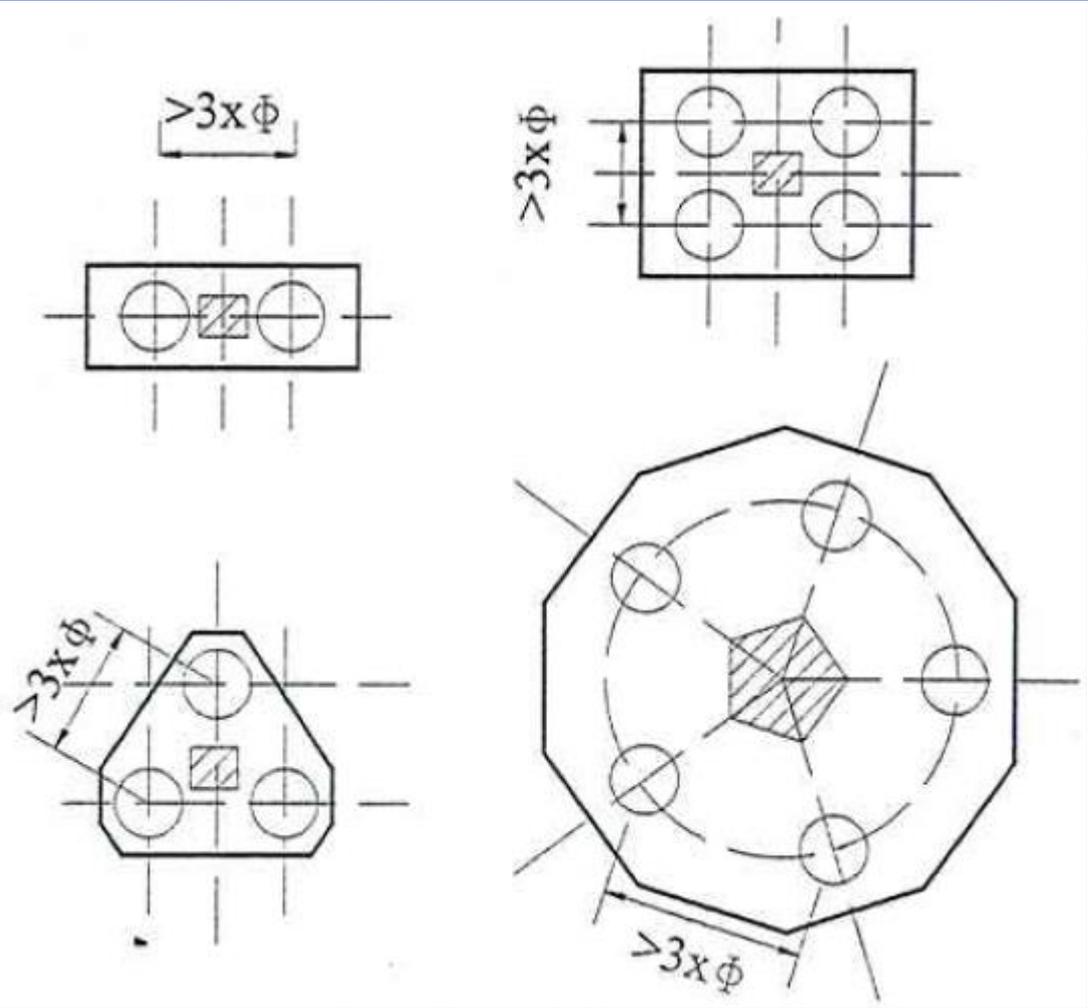
Fig. 2. Esquema simplificado da biela em tração e em compressão ($\theta = 45^\circ$).

Bloco sobre Estacas

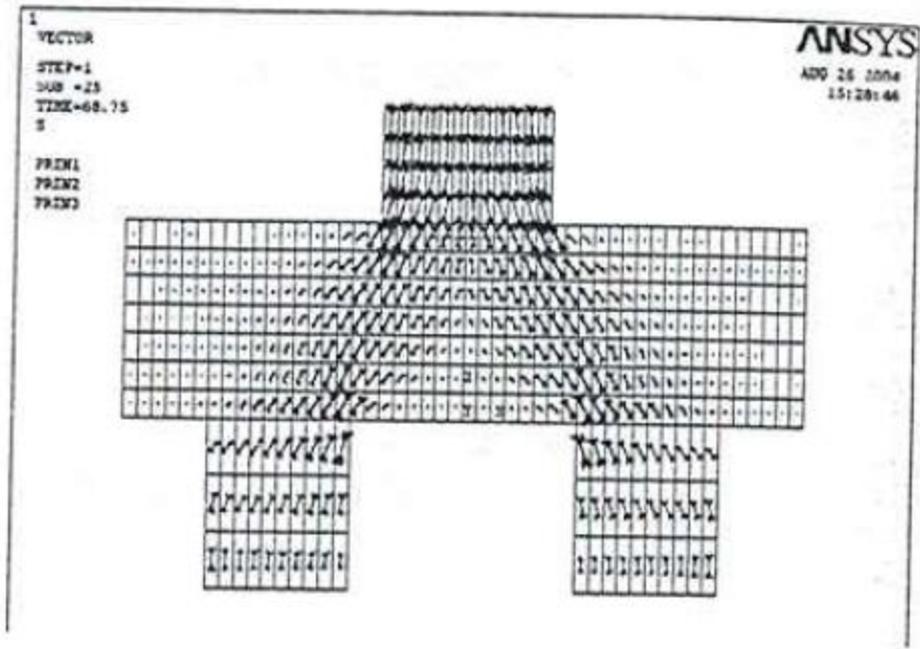
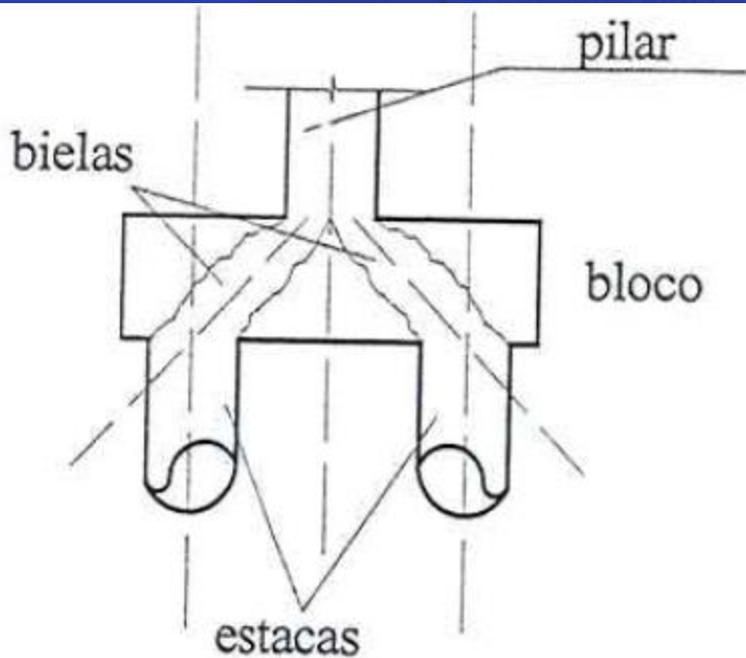
Travamento nas duas direções dos blocos com estacas em linha:



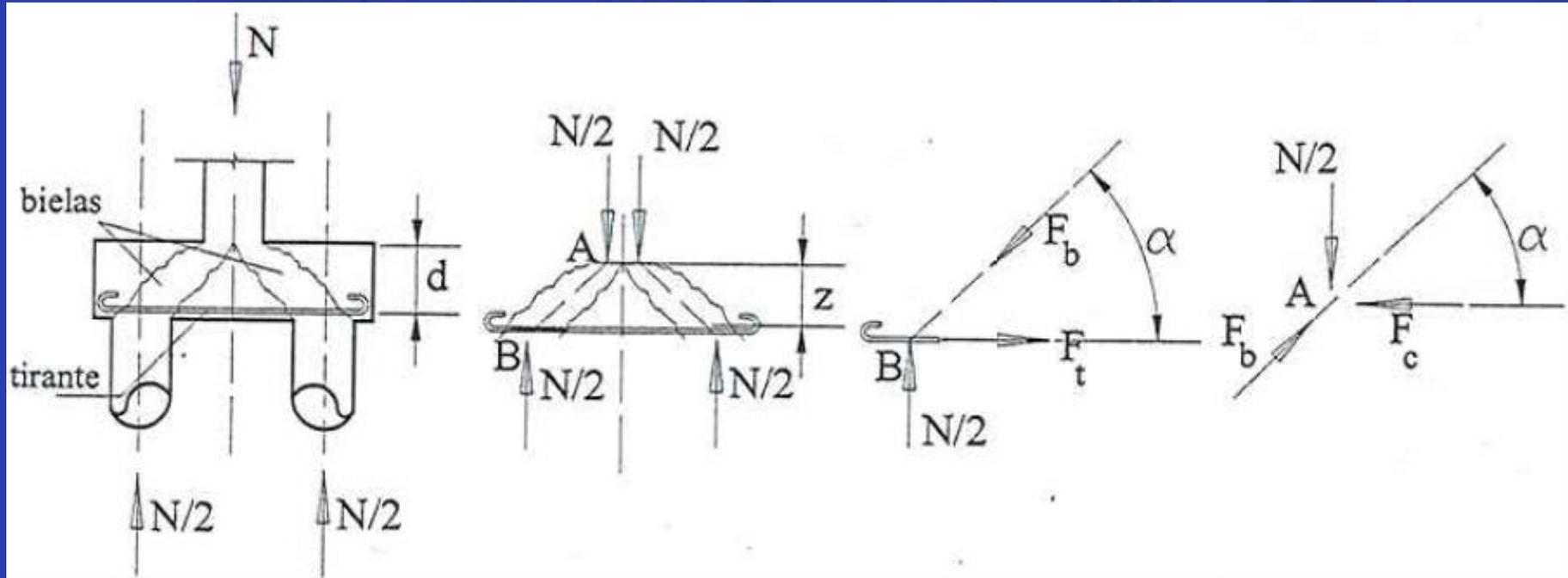
Distância entre as estacas



Conceito sobre o modelo de bielas e tirantes



Bloco sobre 2 estacas

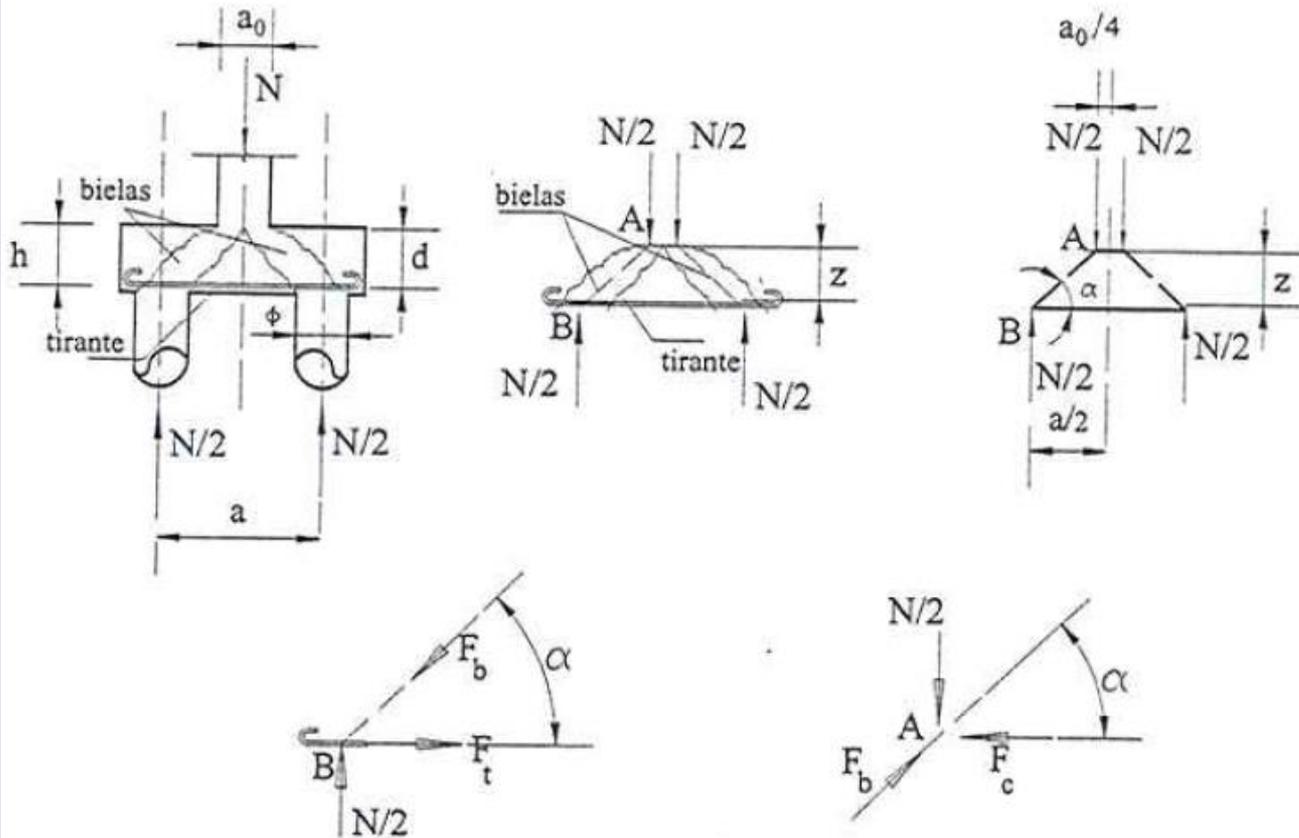


$$F_B = \frac{N/2}{\sin \alpha}$$

$$F_t = F_b \cdot \cos \alpha = \frac{N/2}{\sin \alpha} \cdot \cos \alpha = \frac{N/2}{\tan \alpha} = \frac{N}{2 \cdot \tan \alpha}$$

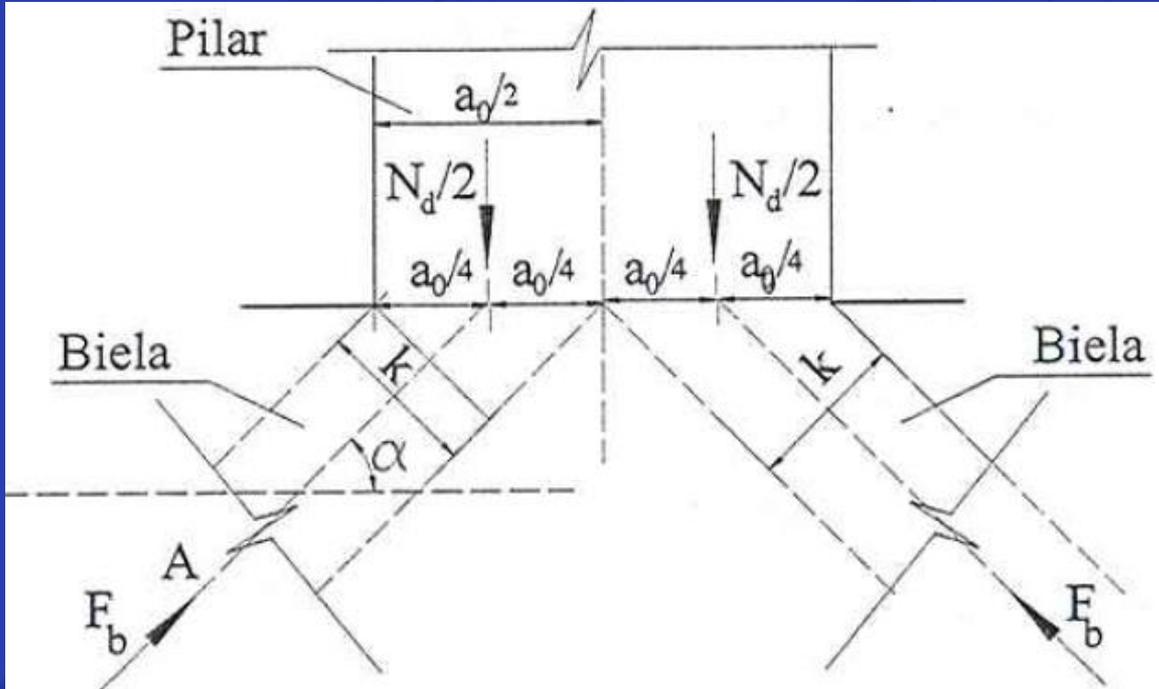
$$\tan \alpha = \frac{z}{\frac{a}{2} - \frac{a_0}{4}} = \frac{0,9 \cdot d}{\frac{a}{2} - \frac{a_0}{4}}$$

Bloco sobre 2 estacas



$$\tan \alpha = \frac{z}{\frac{a}{2} - \frac{a_0}{4}} = \frac{0,9 \cdot d}{\frac{a}{2} - \frac{a_0}{4}}$$

Bloco sobre 2 estacas



Tensões nas bielas na base do pilar (Ponto A)

$$A_{biela}^P = b \cdot k \quad k = \frac{a_0}{2} \cdot \text{sen} \alpha$$

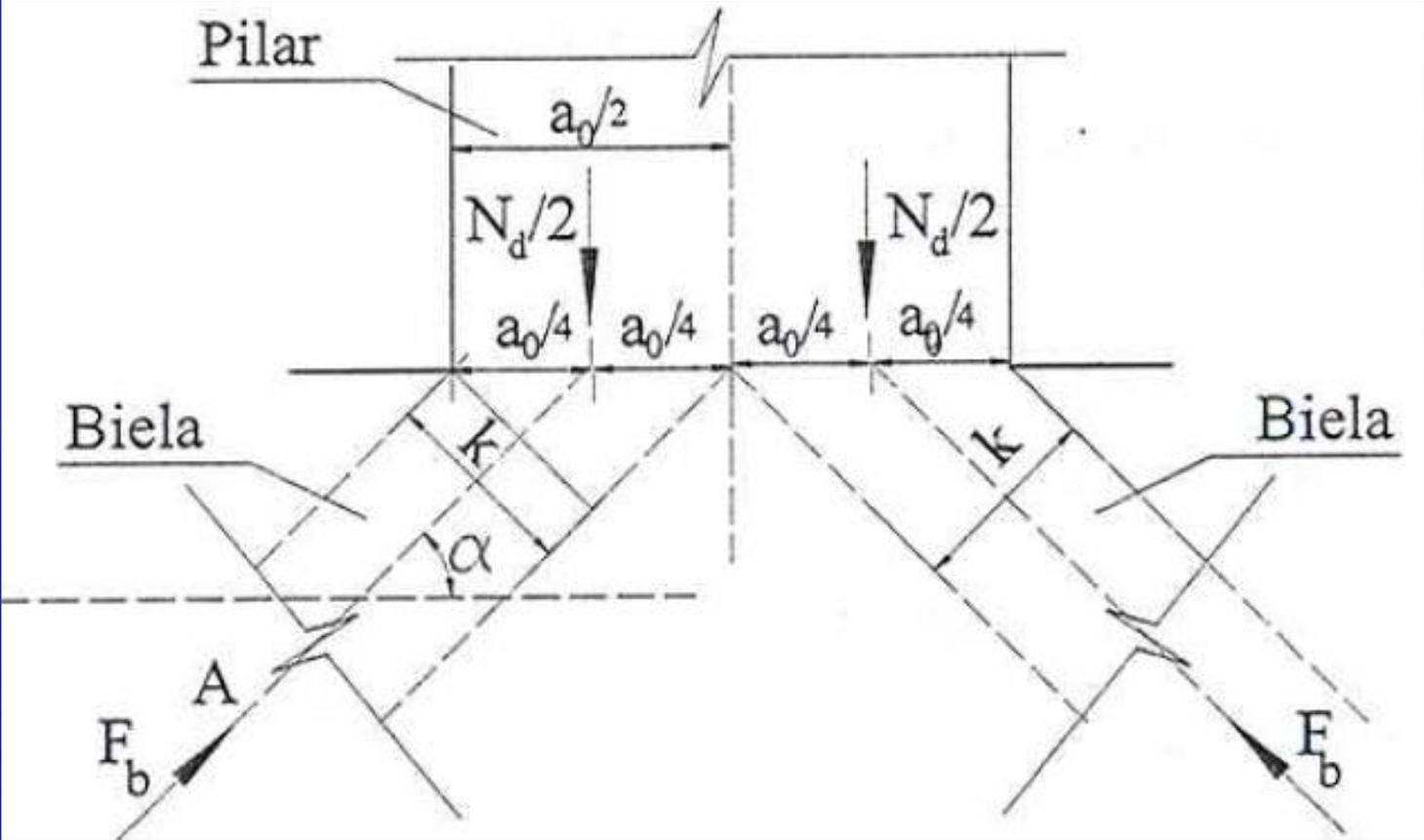
$$\frac{A_{pilar}}{2} \cdot \text{sen} \alpha = A_{biela}^P$$

$$F_b \cdot \text{sen} \alpha = \frac{N_d}{2} \quad \rightarrow \quad F_b = \frac{N_d}{2 \cdot \text{sen} \alpha}$$

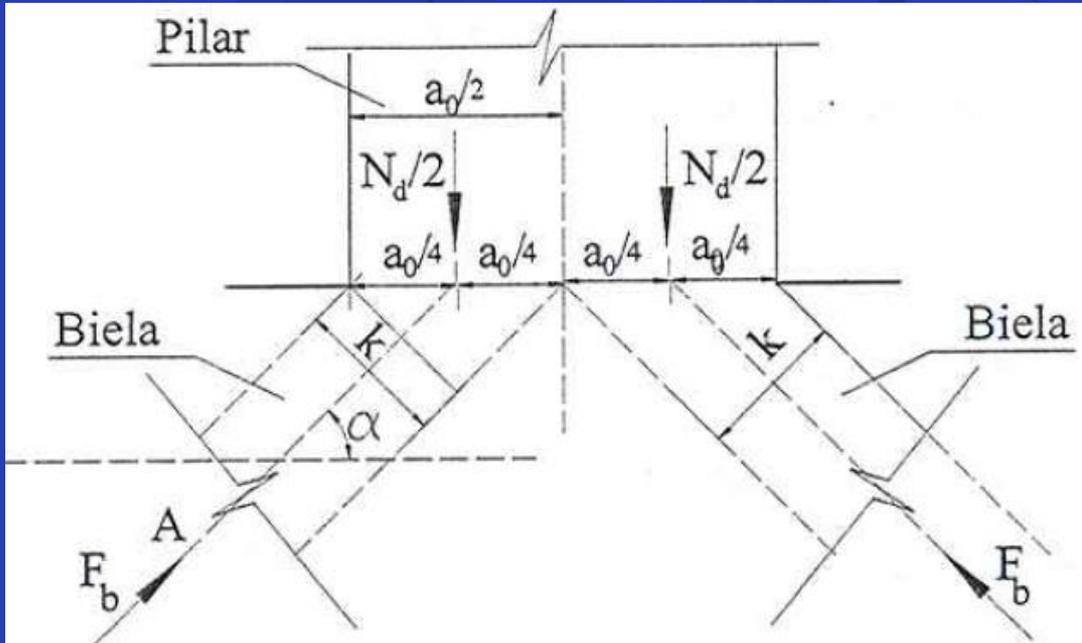
$$\sigma_{c,biela,P} = \frac{F_b}{A_{biela}^P} = \frac{N_d}{2 \cdot \text{sen} \alpha \cdot A_{biela}^P} = \frac{N_d}{2 \cdot \text{sen} \alpha \cdot \frac{A_{pilar}}{2} \cdot \text{sen} \alpha}$$

$$\sigma_{c,biela,P} = \frac{N_d}{A_{pilar} \cdot \text{sen}^2 \alpha}$$

Bloco sobre 2 estacas



Bloco sobre 2 estacas



Tensões nas bielas junto à estaca (Ponto B)

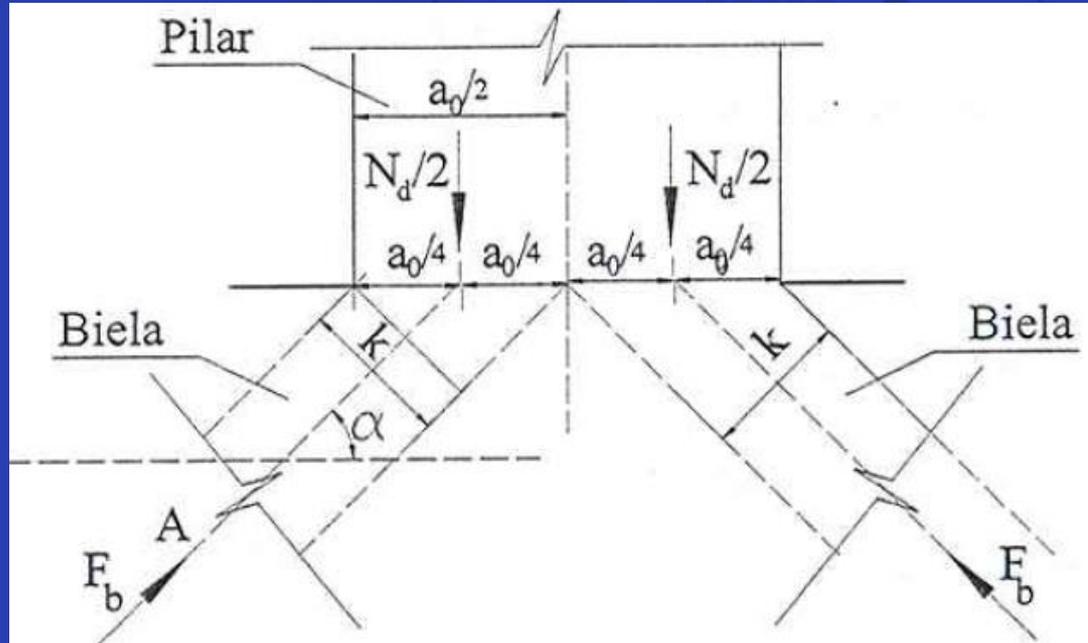
$$A_{estaca} \cdot \text{sen} \alpha = A_{biela}^e \quad F_b \cdot \text{sen} \alpha = \frac{N_d}{2}$$

$$F_b = \frac{N_d}{2 \cdot \text{sen} \alpha}$$

$$\sigma_{c,biela,e} = \frac{F_b}{A_{biela}^e} = \frac{N_d}{2 \cdot \text{sen} \alpha \cdot A_{biela}^e} = \frac{N_d}{2 \cdot \text{sen} \alpha \cdot A_{estaca} \cdot \text{sen} \alpha}$$

$$\sigma_{c,biela,e} = \frac{N_d}{2 \cdot A_{estaca} \cdot \text{sen}^2 \alpha}$$

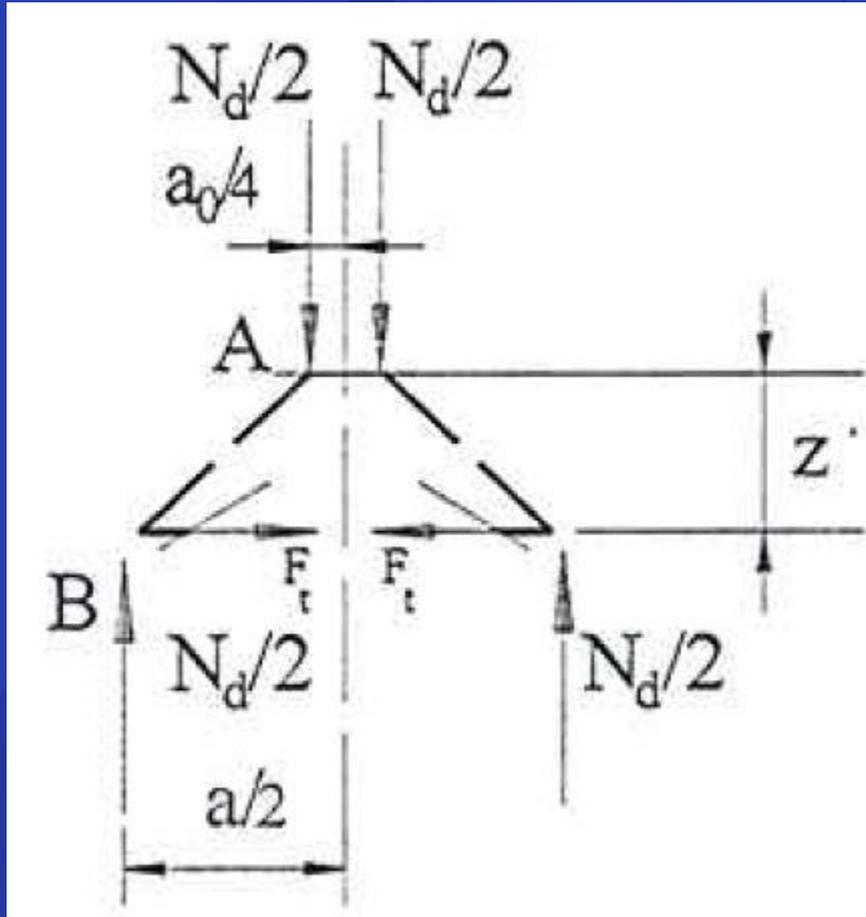
Bloco sobre 2 estacas



Verificações das tensões

$$\sigma_{c,lim} = 1,26 \cdot f_{cd} = 0,9 \cdot f_{ck} \quad (\text{Página 552})$$

Bloco sobre 2 estacas



Cálculo da armadura principal de tração

$$F_t = \frac{N_d}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{N_d}{2 \cdot 0,9 \cdot d} \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{a_0}{2} \right)$$

$$F_t = A_s \cdot f_{yd}$$

$$F_t = A_s \cdot f_{yd} = \frac{N_d}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{N_d}{2 \cdot 0,9 \cdot d} \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{a_0}{2} \right)$$

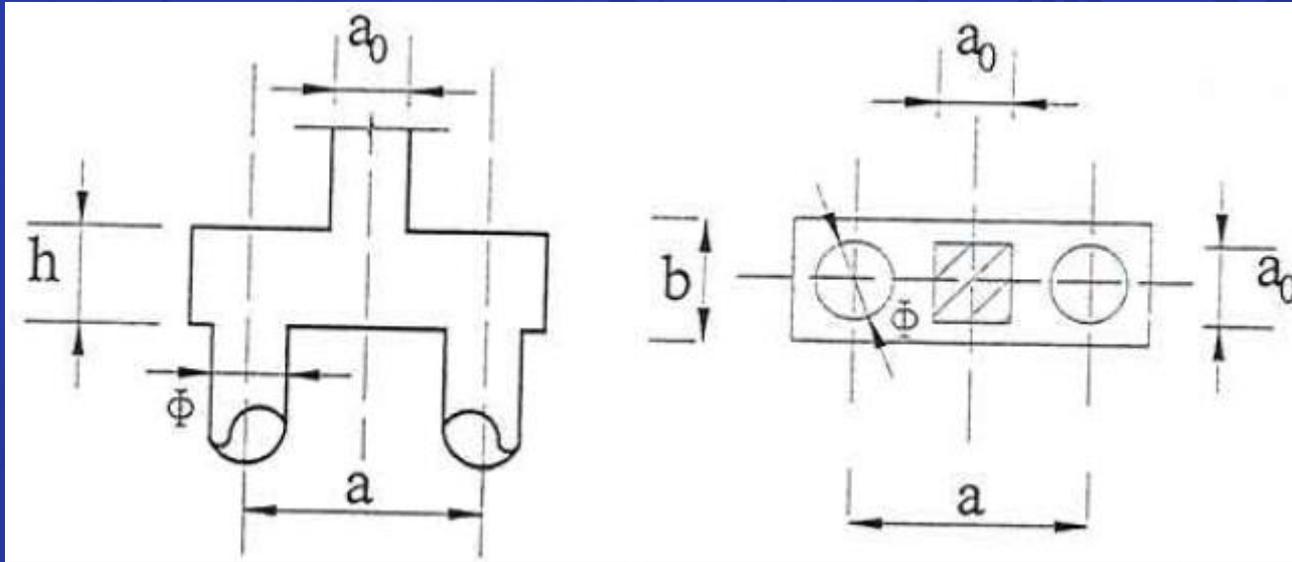
$$A_s = \frac{N_d}{2 \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{a_0}{2} \right)$$

$$A_s = \frac{N_d}{3,6} \cdot \frac{a}{d \cdot f_{yd}} \cdot \left(1 - \frac{a_0}{2 \cdot a} \right)$$

Exercício

Calcular a armadura e verificar as tensões de compressão no concreto do bloco da figura 7.22 para uma força no pilar $N = 400\text{kN}$; o pilar é quadrado de lado $a_0 = 20\text{ cm}$. Adotar CA-50, concreto com $f_{ck} = 25\text{ Mpa}$, estacas de diâmetro $\phi = 20\text{ cm}$ e armadura longitudinal principal com diâmetro de $12,5\text{ mm}$.

Exercício



a) Determinação das dimensões do bloco

Largura

Como a estaca tem diâmetro de 20 cm, adota-se **b** o valor de 40 cm.

Exercício

a) Determinação das dimensões do bloco

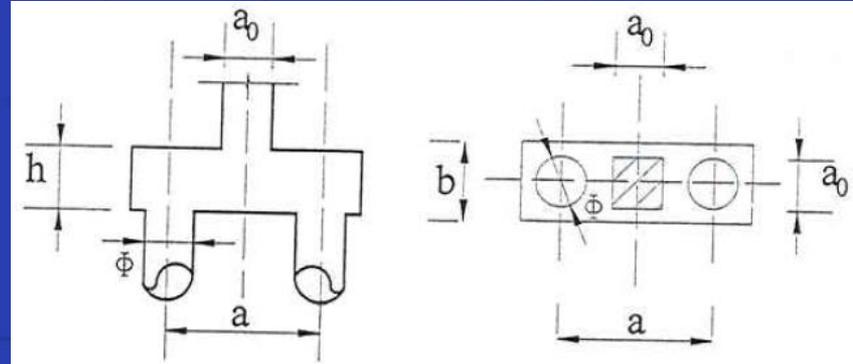
Comprimento:

Tomando para a o valor de 60 cm (três vezes o diâmetro da estaca), o comprimento total do bloco será:

$$L = 60 + \frac{20}{2} + \frac{20}{2} + 2 \cdot 10 = 100 \text{ cm}$$

Cobrimento:

Será usado um cobrimento de 3 cm, que com diâmetro de barra longitudinal de 12,5 mm, resulta para d' (centro de armadura à face mais próxima do concreto) 3,6 cm.



Exercício

Altura (segundo o método de Bléivot e Frémy):

Para empregar este método, o ângulo da biela deve estar compreendido entre 45° e 55° . Admitindo $\alpha=45^\circ$.

$$z = \tan \alpha \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{a_0}{4} \right)$$

$$z = \tan 45 \cdot \left(\frac{0,6}{2} - \frac{0,2}{4} \right) = 0,25 \text{ m}$$

Admitido $z = 0,9 \cdot d$ \rightarrow $d = 0,28 \text{ m}$ \rightarrow $h = 0,28 + 0,036 = 0,316 \text{ m}$

$$h = 0,35 \text{ m (35 cm)}$$

Exercício

b) Verificação das tensões e cálculo da armadura com o método de Blévyot e Frémy

b1) Verificação da biela junto ao pilar

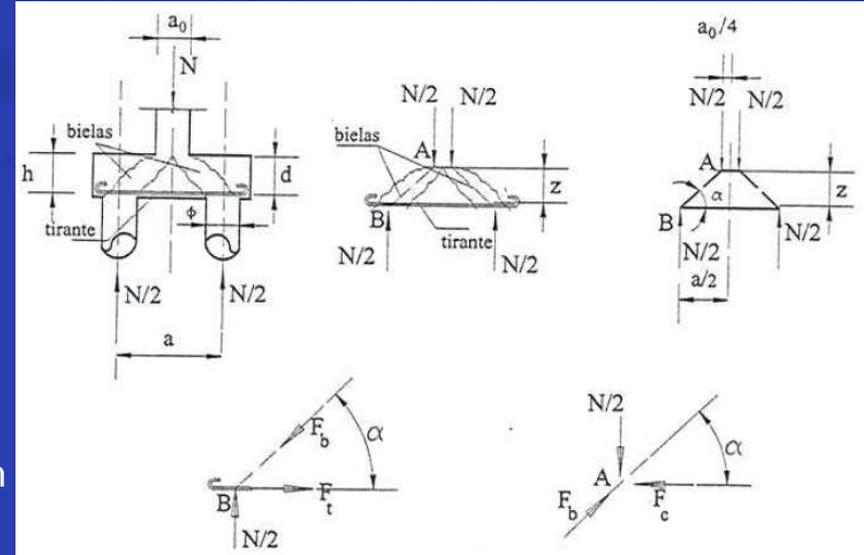
Ângulo α de inclinação das bielas para as dimensões adotadas.

Sabendo que $d = h - d' = 0,35 - 0,036 = 0,314$ m

$$\tan \alpha = \frac{0,9 \cdot d}{\frac{a}{2} - \frac{a_0}{4}} = \frac{0,9 \cdot 0,314}{\frac{0,6}{2} - \frac{0,2}{4}} = 1,13 \quad \longrightarrow \quad \alpha = 48,5^\circ$$

Tensão nas bielas, sendo o pilar quadrado de lado 20 cm

$$\sigma_{c,biela,P} = \frac{N_d}{A_{pilar} \cdot \sin^2 \alpha} = \frac{1,4 \cdot 400}{0,2 \cdot 0,2 \cdot \sin^2 48,5^\circ} = 24958 \text{ kN/m}^2$$



Exercício

Comparação com a tensão limite:

$$\sigma_{c,lim} = 0,9 \cdot f_{ck} \quad \text{Página 552}$$

$$\sigma_{c,lim} = 0,9 \cdot f_{ck} = 0,9 \cdot 25000 = 22500 \text{ k N/m}^2$$

$$\sigma_{c,biela,P} = 24958 \text{ k N/m}^2$$

Como $\sigma_{c,biela,P} > \sigma_{c,lim}$, a verificação da biela junto ao pilar não está atendida. A solução é aumentar a altura do bloco, cujo valor mínimo é obtido igualando-se a tensão de projeto com a tensão limite.

$$\sigma_{c,biela,P} = \frac{N_d}{A_{pilar} \cdot \text{sen}^2 \alpha} \rightarrow 22500 = \frac{1,4 \cdot 400}{0,2 \cdot 0,2 \cdot \text{sen}^2 \alpha}$$

$$\text{sen}^2 \alpha = 0,62 \rightarrow \alpha = 52^\circ < 55^\circ$$

Com $\alpha=52^\circ$ resulta para a altura do bloco:

Exercício

Com $\alpha=52^\circ$ resulta para a altura do bloco:

$$\tan 52^\circ = \frac{z}{\frac{a}{2} - \frac{a_0}{4}} = \frac{z}{0,25} \rightarrow z = 0,25 \cdot \tan 52^\circ = 0,25 \cdot 1,28 = 0,32 \text{ m}$$

$$d = \frac{z}{0,9} = \frac{0,32}{0,9} = 0,356 \text{ m}$$

$$h = d + 0,036 = 0,356 + 0,036 = 0,392 \text{ m}$$

Adotando $h = 0,40 \text{ m} = 40 \text{ cm}$

Novo ângulo de inclinação das bielas:

$$\tan \alpha = \frac{0,9 \cdot (0,40 - 0,036)}{\frac{0,60}{2} - \frac{0,20}{4}} = \frac{0,328}{0,25} = 1,312 \rightarrow \alpha = 52,65^\circ < 55^\circ$$

Exercício

B2) Verificação da biela junto à estaca

O ângulo α de inclinação das bielas é o já determinado para as novas dimensões:

$$\tan \alpha = \frac{0,328}{0,25} = 1,312 \rightarrow \alpha = 52,65^\circ$$

Tensão nas bielas, sendo as estacas de diâmetro de 20 cm

$$\sigma_{c,biela,e} = \frac{N_d}{2 \cdot A_{estaca} \cdot \text{sen}^2 \alpha} = \frac{1,4 \cdot 400}{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,2^2}{4}\right) \cdot \text{sen}^2 52,65^\circ} = 14104 \text{ k N/m}^2$$

Comparação com a tensão limite:

$$\sigma_{c,lim} = 0,9 \cdot f_{ck} = 0,9 \cdot 25000 = 22500 \text{ k N/m}^2$$

$$\sigma_{c,biela,e} = 14104 \text{ k N/m}^2$$

Exercício

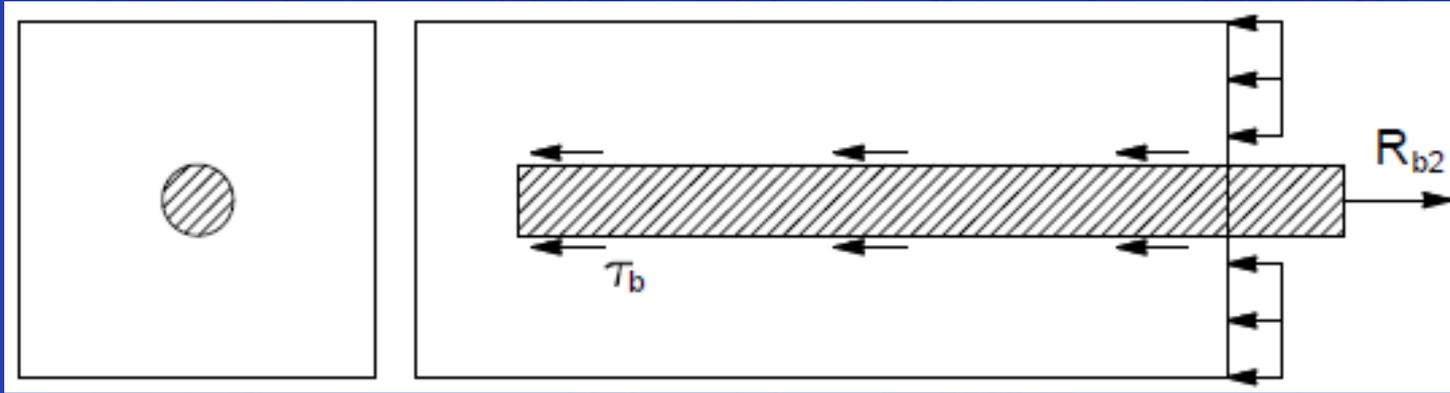
B3) Cálculo da armadura

$$A_s = \frac{N_d}{3,6} \cdot \frac{a}{f_{yd} \cdot d} \cdot \left(1 - \frac{a_0}{2 \cdot a}\right) = \frac{1,4 \cdot 400}{3,6} \cdot \frac{0,6}{\left(\frac{50}{1,15}\right) \cdot 0,364} \cdot \left(1 - \frac{0,2}{2 \cdot 0,6}\right) = 4,91 \text{ cm}^2$$

Exercício 2

Verificar se, ao empregar para a armadura principal do bloco do exemplo anterior quatro barras com diâmetro de 12,5 mm ($4\phi 12,5$, $A_s = 5 \text{ cm}^2$, que atente à calculada $A_s = 4,91 \text{ cm}^2$), elas estarão perfeitamente ancoradas.

Ancoragem



Ao se aplicar uma força que tende a arrancar uma barra de aço inserida no concreto, verifica-se tensões de cisalhamento, que originam forças de atrito que opõem-se ao deslocamento relativo entre a barra de aço e o concreto. Existe, portanto, uma contribuição do atrito à aderência.

Ancoragem

$$l_{b,nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}}$$

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

$$f_{bd} = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot f_{ctd}$$

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4}$$

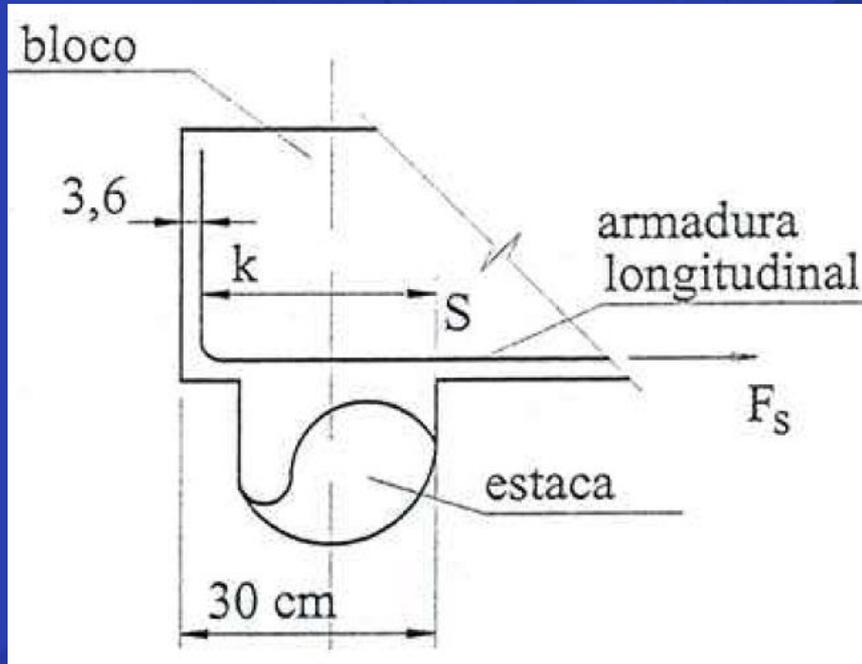
$$\alpha_1 = \begin{cases} \alpha_1 = 1,0 & \text{para barras sem gancho} \\ \alpha_1 = 0,7 & \text{para barras tracionadas com gancho} \end{cases}$$

$$\eta_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{para barras lisas (CA-25)} \\ 1,4 & \text{para barras entalhadas (CA-60)} \\ 2,25 & \text{para barras de alta aderência (CA-50)} \end{cases}$$

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

$$\eta_3 = \begin{cases} 1,0 & \text{para } \phi \leq 32\text{mm} \\ \frac{132 - \phi}{100} & \text{para } \phi > 32\text{mm} \end{cases} \quad (\phi \text{ é o diâmetro da barra, em mm);$$

Exercício 2



Comprimento necessário de ancoragem

$$l_{b,nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}}$$

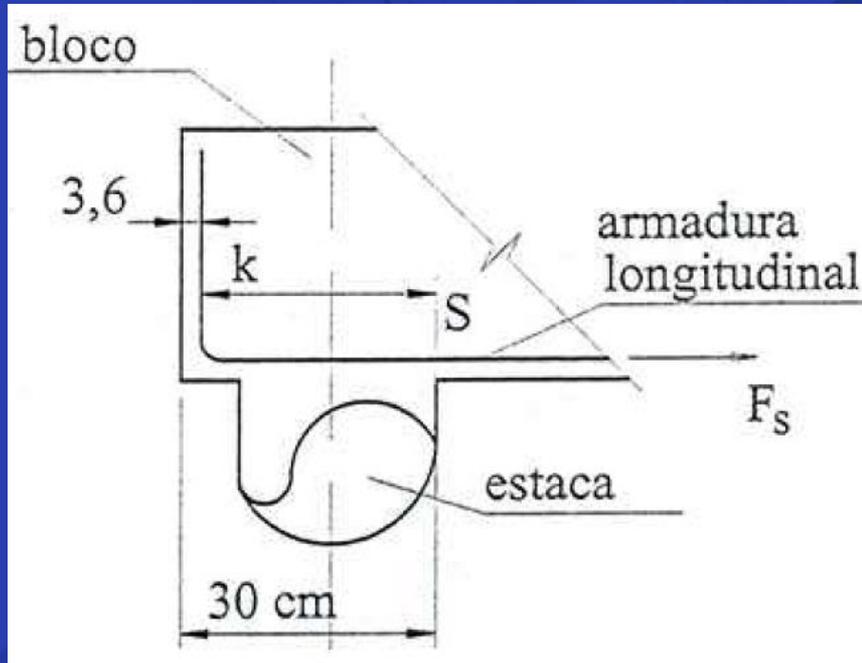
$$l_{b,nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} = \alpha_1 \cdot \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}}$$

$$l_{b,nec} = 0,7 \cdot \frac{1,25}{4} \cdot \frac{500}{1,15 \cdot 2,88} \cdot \frac{4,91}{5} = 32,43 \text{ cm}$$

Comprimento k disponível

$$k = 30,0 - 3,6 = 26,4 \text{ cm}$$

Exercício 2



Comprimento necessário de ancoragem

$$l_{b,nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}}$$

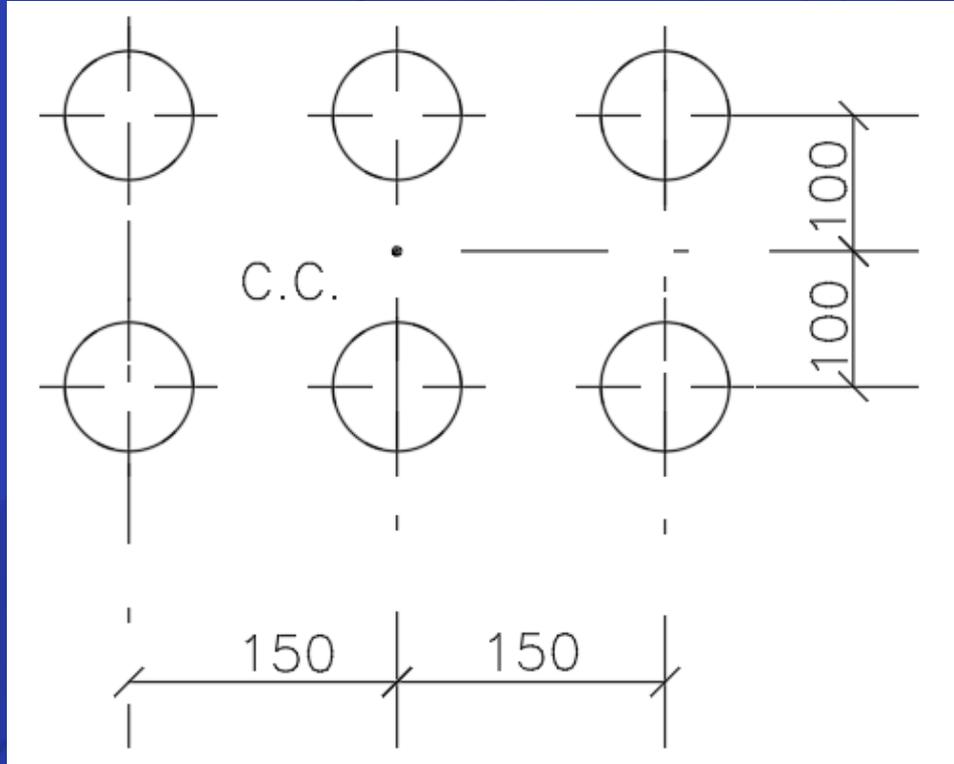
$$l_{b,nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} = \alpha_1 \cdot \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}}$$

$$l_{b,nec} = 0,7 \cdot \frac{1,25}{4} \cdot \frac{500}{1,15 \cdot 2,88} \cdot \frac{4,91}{6,25} = 25,9 \text{ cm}$$

Comprimento k disponível

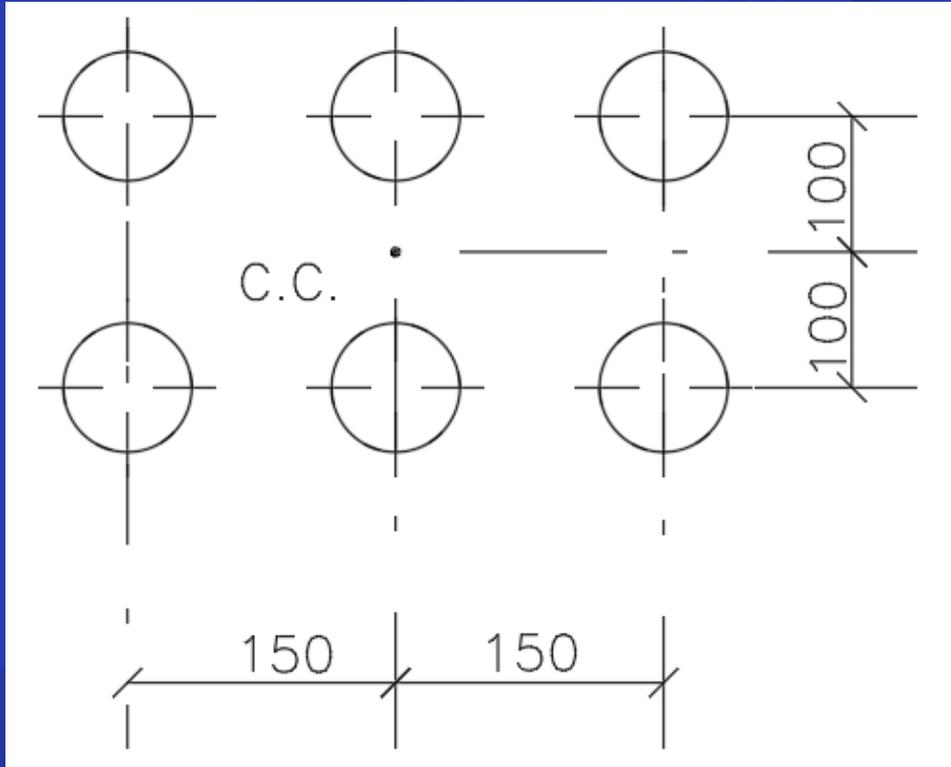
$$k = 30,0 - 3,6 = 26,4 \text{ cm}$$

Determinação Carga Vertical nas estacas



$$P_i = \frac{N}{n} - \frac{M_x \cdot y_i}{\sum_i^n y_i^2} + \frac{M_y \cdot x_i}{\sum_i^n x_i^2}$$

Exercício: Determinação Carga Vertical nas estacas



Bloco de 6 estacas

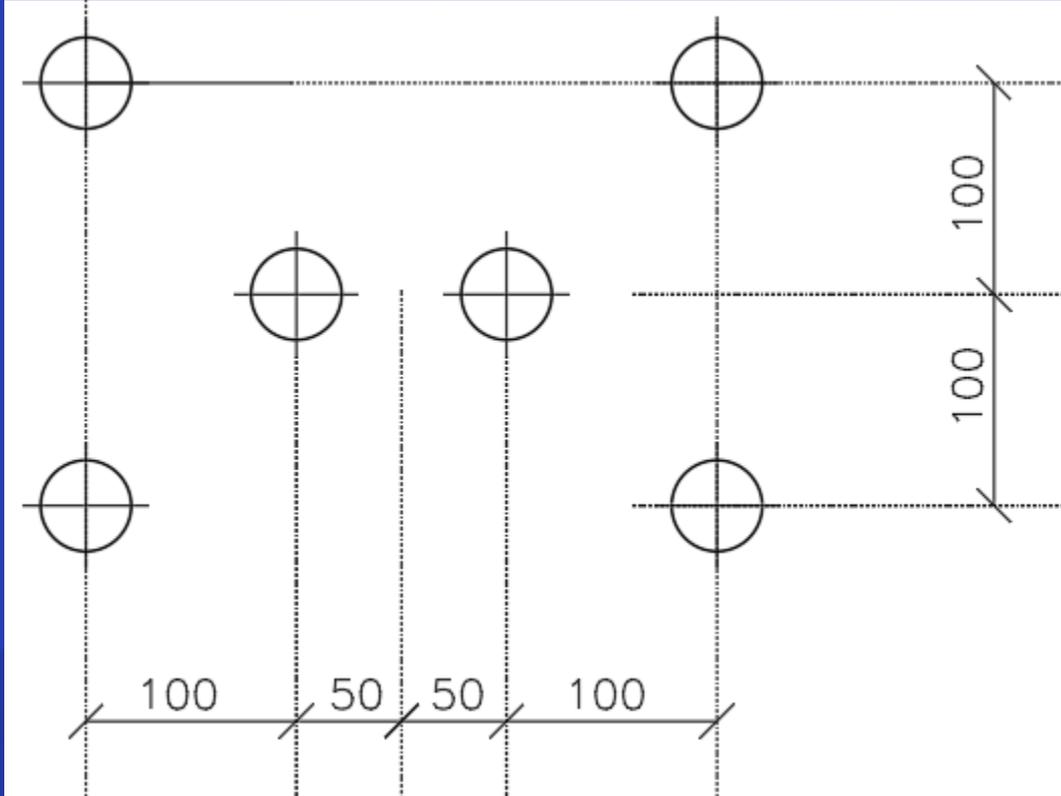
$N = 4800 \text{ kN}$

$M_x = 400 \text{ kNm}$

$M_y = 600 \text{ kNm}$

$$P_i = \frac{N}{n} - \frac{M_x \cdot y_i}{\sum_i^n y_i^2} + \frac{M_y \cdot x_i}{\sum_i^n x_i^2}$$

Exercício: Determinação Carga Vertical nas estacas



Bloco de 6 estacas

$N = 2000 \text{ kN}$

$M_x = -500 \text{ kNm}$

$M_y = 400 \text{ kNm}$

$$P_i = \frac{N}{n} - \frac{M_x \cdot y_i}{\sum_i^n y_i^2} + \frac{M_y \cdot x_i}{\sum_i^n x_i^2}$$