

# Diretrizes para o dimensionamento de blocos de coroamento rígido sobre estacas

**Bernard Franklin Silva<sup>1</sup>**

**Liércio Feital Motta Júnior<sup>2</sup>**

## **Resumo**

Blocos de estacas ou blocos de coroamento são elementos estruturais utilizados para transferir a ação da superestrutura para um conjunto de estacas. Eles são encontrados em infraestrutura de edifícios e pontes. É fundamental compreender o seu verdadeiro comportamento estrutural, pois são um dos elementos estruturais que mantêm toda a estrutura segura. Não há consenso entre a comunidade técnica sobre o seu verdadeiro comportamento estrutural; a verdadeira geometria da biela de compressão no estado último quando aplicado o método biela-tirante também é desconhecida; e há falta de padronização deste elemento estrutural; estes aspectos tornam este trabalho necessário. Para fornecer orientação de projeto, são propostos critérios para uso no projeto de blocos sobre estacas. Conclui-se com a apresentação de um software para dimensionamento e verificação de blocos de coroamento sobre duas, três, quatro e cinco estacas.

## **Palavras-chave:**

Blocos de coroamento, blocos de fundação.

## **Abstract**

Piple blocks or crown blocks are structural elements used to transfer the action of superstructure to a set of piles. They are found in building infrastructure and bridges. It is essential to understand its true structural behavior, as it is the structural elements that keep the entire structure safe. There is no consensus among the technical community about is true structural behavior; The true geometry of the compression strut in the ultimate state when applying the strut-tie method i salso unknown; and there is a lack of standardzation of this structural element; These aspects make this work necessary. To provide design guidance, criteria are proposed for use in the design of pile caps. It concludes with the apresentation of software for sizing and checking crown blocks on two, three, four na five piles.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Doctum. E-mail: bernardf.silva@gmail.com

<sup>2</sup> Orientador. E-mail: liercioengenhariajf@doctum.edu.br

**Keywords:**

Crown blocks, foundation blocks.

**1. Introdução**

Os elementos estruturais de fundação têm por finalidade a transmissão das cargas provenientes da superestrutura ao solo. A escolha do tipo de fundação para uma construção, é determinada através de estudos e ensaios físicos que levam em consideração parâmetros como: As condições técnicas da edificação; os parâmetros do solo; intensidade das reações; edificações vizinhas, além de critérios econômicos e financeiros (MEDEIROS, 2016).

Um dos principais procedimentos a serem realizados ao se planejar uma edificação é a investigação do subsolo, infelizmente essa pratica não é sempre frequente, embora seja muito importante. Os principais processos de investigação do subsolo realizados *in situ* são: Poços, sondagens a trado, sondagens a percussão com SPT, Sondagens rotativas, sondagens mistas, ensaio de cone (CPT), e ensaio pressiométrico (PMT), estes ensaios têm como objetivo utilizar os dados encontrados para correlacionar com os métodos semi-empíricos específicos de previsão de recalques e capacidade de carga de fundações (VELLOSO; LOPES, 2010).

Métodos semi-empíricos utilizam das descrições do terreno para fazer a previsão de recalques ou de tensão admissível, os principais métodos semi-empíricos são propostos por: Aoki e Veloso, Decourt e Quaresma. A descrição consiste na classificação e determinação da compacidade ou consistência do solo por meio de investigações de campo ou laboratório, com as informações do subsolo, pode-se iniciar o dimensionamento da fundação (VELLOSO; LOPES, 2010).

Quando as camadas superficiais, de até aproximadamente dois metros de profundidade, sem a presença de água, são capazes de absorver as ações provenientes da edificação opta-se por executar a fundação direta, também conhecida como fundação rasa (TANNO, 2012).

Fundação profunda é o elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela resistência de ponta, pelo atrito lateral (resistência de fuste) e pela combinação das duas. A profundidade de assentamento para este tipo de fundação deve ser superior à oito vezes sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3m, salvo justificativa. São inclusos neste tipo de fundação as estacas, tubulões e os

caixões. Quando as camadas iniciais não fornecem resistência suficiente e há presença de água em níveis elevados, a solução é utilizar fundação profunda (TANNO, 2012).

As fundações profundas normalmente exigem a execução de blocos de coroamento que tem por finalidade transferir as ações da superestrutura para um grupo de estacas ou tubulões (MEDEIROS, 2016).

Como definido pela NBR 6118 - 2014, item 22.7. “Blocos são estruturas de volume usadas para transmitir às estacas e os tubulões, as cargas de fundação, podendo ser considerados rígidos ou flexíveis por critério análogo ao definido para sapatas”.

O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar os métodos de dimensionamento de blocos de coroamento sobre estacas com cálice de fundação, utilizando referências normativas e ensaios realizados por pesquisadores. Como objetivo secundário, pretende-se desenvolver um programa computacional para dimensionamento da armação de aço do bloco de coroamento sobre estacas e do cálice pelo método das Bielas, e dimensionamento da capacidade de carga das estacas pelo método do Decourt e Quaresma em função do boletim de sondagem fornecido.

Este trabalho justifica-se pela importância que o elemento estrutural bloco de coroamento sobre estacas têm para a estrutura de uma edificação, bem como a importância das informações necessárias para definir a capacidade de carga das estacas que transmitirão os esforços para o solo. Para o dimensionamento dos blocos de coroamento existem várias referências normativas e ensaios realizados, sendo o método das Bielas e tirantes o mais usual nos softwares brasileiros por contemplar na NBR6118 (2014).

As divergências existentes entre os métodos usuais de dimensionamento (por exemplo, método das Bielas, baseados nos ensaios de Blévoit) e normas internacionais, como Eurocode e ACI318, motivaram a decisão para o estudo de blocos sobre estacas.

Outro fator motivador é a inexistência de um software de rápida entrada de dados específicos para blocos de coroamento sobre estacas que permite a verificação do bloco de forma rápida e ilustrativa, possibilitando a economia de tempo e favorecendo a aprendizagem do usuário.

O diferencial do software será, além do dimensionamento do bloco de coroamento, a possibilidade de inserção dos dados do boletim de sondagem para dimensionar a capacidade de carga das estacas de forma dinâmica e intuitiva.

A fim de comprovar os estudos realizados neste trabalho, será utilizada a pesquisa bibliográfica e a análise numérica experimental, visto que o procedimento técnico elaborado, a partir do material consultado, envolve um profundo estudo com todos os cálculos necessários do bloco de coroamento.

Será realizada a revisão bibliográfica considerando o Ensaio a Percussão (SPT) e os métodos semiempíricos para determinar a capacidade de carga nas estacas e a previsão de recalques. Além disto, também será feita uma revisão sobre as referências bibliográficas dos modelos de cálculo encontrados para dimensionamento dos blocos de coroamento e estacas.

Como parte da metodologia, será desenvolvido, por fim, o algoritmo computacional para o dimensionamento de blocos de coroamento, pelo método das Bielas, e dimensionamento da profundidade das estacas através do método de Decourt e Quaresma. Assim, busca-se demonstrar, por meio de exemplos reais, que o software reproduzirá resultados coerentes e satisfatórios. Por fim na conclusão, então, com o procedimento de cálculo gerando o detalhamento do modelo estrutural com as respectivas armaduras em um desenho para software CAD.

## **2. Metodologia científica**

Foi realizada uma revisão bibliográfica, apresentando-se os métodos usuais de cálculo e prescrições existentes em normas, relativos ao dimensionamento e verificações de blocos sobre estacas.

Do ponto de vista da sua natureza, foi utilizado o método de pesquisa aplicada, apresentando de forma prática as diretrizes para o dimensionamento de blocos de coroamento sobre estacas.

Do ponto de vista da forma de abordagem do problema este trabalho tem como característica o método de pesquisa quantitativa, apresentando os métodos e cálculos para o dimensionamento com segurança.

Do ponto de vista de seus objetivos é uma pesquisa exploratória, utilizando a pesquisa bibliográfica.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos é uma pesquisa experimental.

O método a ser empregado para a realização deste trabalho consiste basicamente nas etapas seguintes:

- a) Realizar uma revisão bibliográfica acerca de métodos e recomendações de dimensionamento de blocos de coroamento sobre uma, duas três e quatro estacas.
- b) Desenvolver um roteiro de cálculo para dimensionamento desses elementos. O roteiro será fundamentado no Método das Bielas.
- c) Por fim, deverão ser levantadas as principais ideias conclusivas a respeito da aplicabilidade e limitações do programa.

### **3. Revisão da bibliografia**

#### **3.1. Caracterização do solo**

Para o dimensionamento do bloco de coroamento de forma a garantir a segurança da estrutura é necessário conhecer em detalhes como é o solo da região, para isso é necessário fazer uma investigação geotécnica.

Com o avanço da tecnologia permite-se nos dias atuais fazer uma análise muito completa do perfil geotécnico de um solo, podendo ser realizado por vários ensaios de campo existentes pelo mundo, como: Standard Penetration Test (SPT); Standard Penetration Test – Complementando com medidas de Torque; Ensaio de penetração de cone (CPT); Ensaio de penetração do cone com medida das pressões neutras, ou piezocone (CPT-U); Ensaio de Palheta (Vane Test); Pressiômetros; Dilatômetro de Marchetti; Ensaio de carregamento de placa – prova de carga e por fim os ensaios geofísicos de Cross-Hole. (VELOZO, 2010)

##### **3.1.1. Sondagem SPT:**

Cada ensaio citado acima tem sua peculiaridade e custo devido ao aumento da tecnologia empregada. Um dos ensaios mais usuais e empregados no mercado Brasileiro é o Standard Penetration Teste (SPT). (VELOZO, 2010)

“Abreviatura do índice de resistência à penetração do SPT, cuja determinação se dá pelo número de golpes correspondente à cravação de 30 cm do amostrador-padrão, após a cravação inicial de 15 cm, utilizando-se corda de sisal para levantamento do martelo padronizado.” (NBR 6484, 2001, p. 02)

**Tipos de solo:** O solo apresenta três tipos: Arenoso, argiloso e siltoso.

Solo arenoso é altamente permeável e se movimenta facilmente, não possui grande índice de coesão.

Por ser um solo de grande movimentação deve ser usado uma fundação profunda com a utilização de estacas até uma profundidade que se encontra um solo mais rígido e suporta a carga imposta.

Solo argiloso possui alta densidade quando não há presença de água e é o tipo de solo mais comum nas terras brasileiras.

Solo siltoso é o intermediário entre a areia e a argila, possui pouca coerência e se transforma facilmente em lama. (GEOANALISYS, 2023)

### **3.1.2. Parâmetros do solo:**

Os parâmetros do solo são importantes para a caracterização e análise do comportamento do solo em diversas aplicações da engenharia civil, esses parâmetros são: Densidade, porosidade, umidade, permeabilidade, capacidade de carga, compressibilidade, coesão e ângulo de atrito.

Densidade: É um parâmetro importante que é correlacionado com o grau de compactação que está à camada do solo analisada, quanto mais denso mais resistente. (APL, 2023)

Porosidade: É definido como pontos vazios no solo que podem ser ocupados por água e/ou ar, é diretamente proporcional à densidade, ou seja, quanto mais densa for a camada de solo estudado menor serão os pontos vazios. (USP, 2023)

Umidade: A umidade é um dos parâmetros importantes para o comportamento do solo, sendo o teor de umidade dividido em duas definições: Teor de umidade natural e Teor de umidade volumétrico.

Teor de umidade natural é definido como a relação entre a massa de água presente em um determinado volume de solo. (DNER-ME 213/94, 2023)

Permeabilidade: É o conceito que define o quão suscetível o solo é para a percolação da água. Esse parâmetro é muito importante porque muitos dos problemas presentes no solo é decorrente do acúmulo de água, problemas estes: Recalques, estabilidade e resistência do solo. (PINTO, 2006)

Capacidade de carga: É definida como a carga aplicada pelo elemento de fundação em um maciço de solo capaz de provocar a ruptura sua ruptura, ou sua deformação excessiva. Este parâmetro é muito importante para o correto dimensionamento da fundação profunda, o mau dimensionamento pode ocasionar vários problemas no futuro. (FSP, 2023).

Compressibilidade: É definido como a diminuição do volume sob ação de cargas aplicadas. (CAPUTO, 1996)

Coesão: Conforme NBR 6502 (1995, p.10) “Parcela de resistência ao cisalhamento de um solo, independente da tensão efetiva normal atuante, provocada pela atração físico-química entre partículas ou pela cimentação destas”.

Ângulo de atrito: É um importante parâmetro para estudar a capacidade do solo em resistir as cargas atuantes sem que haja problemas de ruptura ou recalque. Os materiais do solo que apresentam ângulo de atrito fazem com que o solo fique mais resistente devido à ligação do solo, sem que haja o cisalhamento do solo no plano de ruptura. (BRAGA, 2014)

### **3.1.3. Correlação do Nspt com Parâmetros do solo:**

Os parâmetros dos solos citados acima têm um papel importante para determinar o valor do NSPT, sendo os principais: Coesão, ângulo de atrito e peso específico.

As principais correlações citadas têm o objetivo de relacionar o NSPT com os indicadores de resistência ao cisalhamento. (APL, 2023).

## **3.2. Elementos de fundação**

### **3.2.1. Blocos de coroamento:**

No item 22.7 a ABNT NBR 6118:2014 define os blocos como estrutura de volume utilizadas para transmitir às estacas e aos tubulões as cargas recebidas dos pilares, e podem ser considerados rígidos ou flexíveis.

A diferença do bloco rígido para o flexível se dá pela dimensão do bloco e do número de estacas, o bloco para ser considerado rígido deve apresentar no máximo 6 estacas e posicionadas de forma equidistantes, assim toda a carga transmitida do pilar será distribuída igualmente para as estacas. O bloco flexível tem maior dimensão e maior número de estacas, com isso a carga do pilar não é distribuída igualmente para todas as estacas e o bloco se deforma em trechos diferentes. (CUNHA, MOURA, 2023)

No Brasil a norma que é utilizada para o dimensionamento das estruturas em concreto armado e que contempla o dimensionamento de blocos de coroamento é a ABNT NBR 6118 e a norma americana ACI318.

Segundo a ABNT NBR 6118 (item 22.7.2) os blocos são divididos em Bloco rígido e Bloco flexível. O Bloco rígido é calculado pelo método das bielas e tirantes, e as forças transmitidas do pilar para as estacas são calculadas por bielas de compressão de forma igual. O comportamento estrutural desses elementos é caracterizado por trabalho a flexão nas duas direções, com tração concentrada na

linha sobre as estacas. Também é caracterizado pelo trabalho ao cisalhamento em duas direções, apresentando ruínas por compressão das bielas, similar às sapatas. Já o bloco flexível trabalha como um elemento de menor rigidez e as estacas recebem cargas diferentes devido à distância das estacas em relação ao ponto de aplicação da carga. Para esse tipo de bloco deve-se fazer uma análise mais completa, verificando a distribuição dos esforços nas estacas, do cisalhamento, dos tirantes de tração e a verificação da punção. (ABNT NBR 6118:2023)

Para verificar se o bloco é rígido, é verificada a seguinte expressão:

$$H \geq (a - a_0)/3$$

H → Altura do bloco;

a → Dimensão do bloco em uma determinada direção;

a<sub>0</sub> → Dimensão do pilar na mesma direção.

Tendo em conta o equilíbrio com as bielas correspondentes, a armadura de flexão deve ser disposta substancialmente (mais de 85%) dentro dos limites da estaca. (ABNT NBR 6118:2023)

As barras devem se estender de uma face à outra do bloco, formando ganchos em ambas as extremidades. (ABNT NBR 6118:2023)

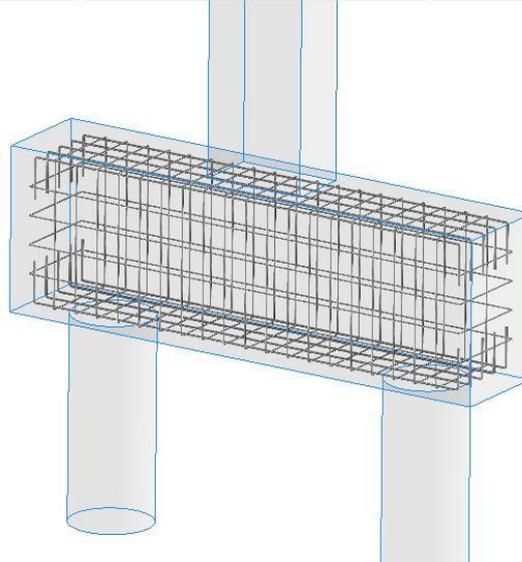
A armadura de cada faixa deve ser ancorada à estaca, medida a partir da superfície interna da estaca. (ABNT NBR 6118:2023)

A seguir são listados os principais tipos de armaduras utilizados nessas estruturas.

- Armadura de distribuição:

Para controlar a fissuração o bloco deve conter armadura de distribuição (Figura 01), sendo uma armadura positiva adicional independente da armadura principal de flexão deve ser fornecida em uma malha uniformemente espaçada em ambas as direções ortogonais, correspondendo a 20% da força de tração total em cada direção. (ABNT NBR 6118:2023)

**Figura 1:** Armadura de distribuição



Elaborado pelo autor (2023)

- Armadura de suspensão:

Se a armadura distribuída representar mais de 25% da força total, ou se o espaçamento entre estacas for superior a três vezes a altura do bloco, deverá ser fornecida armadura de suspensão para equilibrar a parcela de carga. (ABNT NBR 6118:2023)

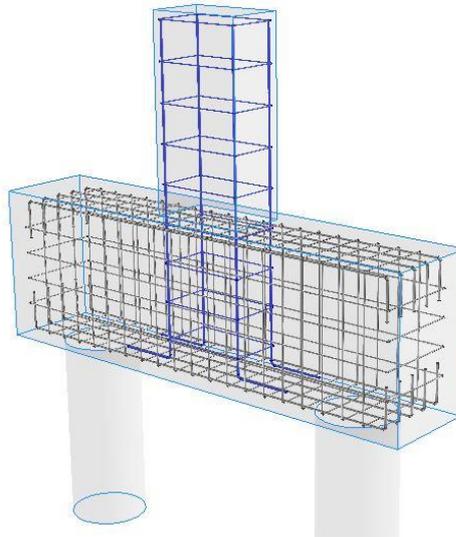
- Armadura de arranque dos pilares:

Para permitir a ancoragem da armadura de arranque dos pilares o bloco deve ter altura suficiente. (ABNT NBR 6118:2023)

A armadura de arranque do pilar é importante e necessária para a transmissão de esforços solicitantes da base do pilar para o elemento de fundação que serve de apoio (bloco sobre estacas, radier ou sapata). (TQS Docs, 2023)

Pode ser composta por retas ou por uma dobra no final da armadura denominada “patinha”, levando em consideração a altura disponível entre a base do elemento de fundação e a base do pilar, (Figura 02). (TQS Docs, 2023)

**Figura 2:** Armadura de arranque



Elaborado pelo autor (2023)

A norma americana ACI 318-19 permite o cálculo e dimensionamento de blocos de coroamento sobre estacas usando teoria de vigas, onde seções críticas são projetadas com base na flexão. (SOUZA, 2023)

E realiza a verificação de cisalhamento para o bloco flexível, e o modelo de bielas e tirantes para blocos rígidos. (SOUZA, 2023)

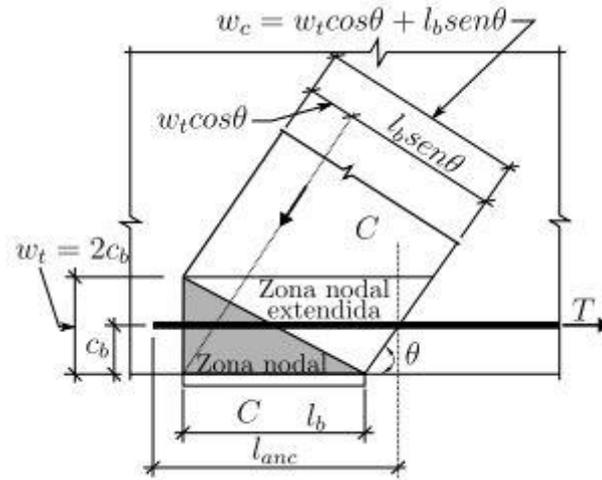
A norma americana determina que blocos rígidos também devem ser inspecionados sobre os efeitos do momento fletor e da força cortante, sendo que essas verificações devem ser feitas em diferentes seções transversais. (SOUZA, 2023)

As bielas e tirantes do modelo são consideradas prismáticas. Dessa forma sua seção transversal tem espessura e largura bem definidas, e ambas as dimensões são perpendiculares aos eixos das bielas e tirantes. A geometria da treliça idealizada deve ser coerente em relação aos elementos. (MENDONÇA, 2023)

As forças internas dos modelos de bielas e tirantes devem sempre ser equilibradas em relação às cargas e reações aplicadas. Os tirantes podem cruzar as bielas e outros tirantes, enquanto as bielas só devem cruzar através de áreas nodais, conforme figura 03. Seguindo a orientação anterior, as áreas dos nós hidrostáticos podem ser modeladas. Uma região de nó é considerada hidrostática quando as faces de carga da região de nó têm a mesma tensão. Para conseguir

isso, as faces desta área devem ser perpendiculares aos eixos das escoras e tirantes ligados aos nós. (MENDONÇA, 2023)

**Figura 3:** Exemplo de zona nodal hidrostática (cinza) e estendida.



(SANTOS, 2023)

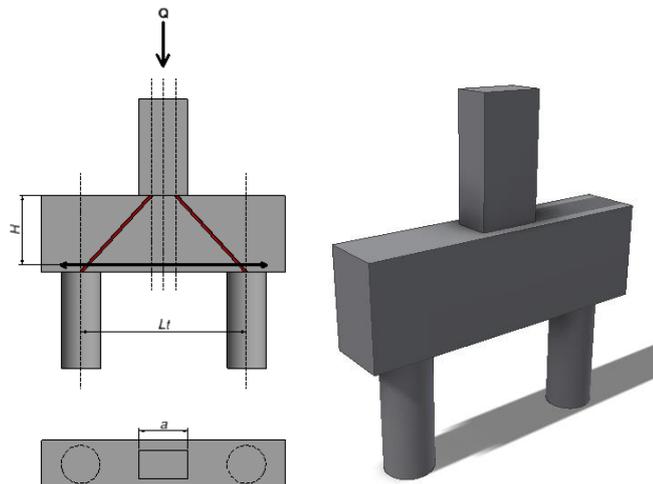
A seguir, são listados os principais ensaios em blocos de coroamento realizados por pesquisadores da área.

- Ensaio de Blévet e Frémy:

Foram realizados vários ensaios em blocos sobre duas, três e quatro estacas:

Bloco sobre duas estacas:

**Figura 4:** Bloco sobre duas estacas



(L. BLEVOT e R. FRÉMY – Elaborado pelo autor)

Considera que o pilar de seção retangular está centralizado no bloco, e à estaca está afastada uma da outra a uma distância  $L_t$ . (J. BLÉVOT; R. FRÉMY. 1997)

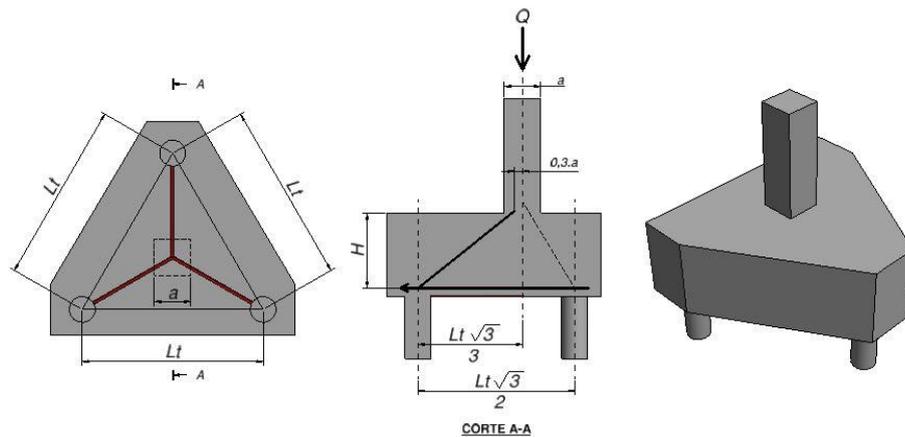
Ao dividir o lado do pilar por 4 ( $a/4$ ) é considerado a origem das bielas. Sendo  $h$  a altura útil ( $h = h_t - d'$ ), o esforço normal que as armações deverão equilibrar tem o valor: (J. BLÉVOT; R. FRÉMY. 1997)

$$N'a = \frac{Q}{4.h} \left[ l_t - \frac{a}{2} \right] = \frac{Q.l_t}{4.h} \left[ 1 - \frac{a}{2.l_t} \right]$$

$N'a$  = Esforço normal de tração que a armadura deve suportar.

Bloco sobre três estacas:

**Figura 5:** Bloco sobre três estacas



(L. BLEVOT e R. FRÉMY – Elaborado pelo autor)

O pilar considerado para a análise do bloco sobre três estacas é de seção quadrada de lado “a” que está posicionado no centro de gravidade do triângulo formado pelas estacas. A carga  $Q$  do pilar é distribuída para cada estaca através de três bielas, cada biela distância do centro do pilar a um valor  $0,3.a$  (J. BLÉVOT; R. FRÉMY. 1997).

As armaduras que serão dispostas ao longo das medianas do triângulo equilátero devem equilibrar um esforço.

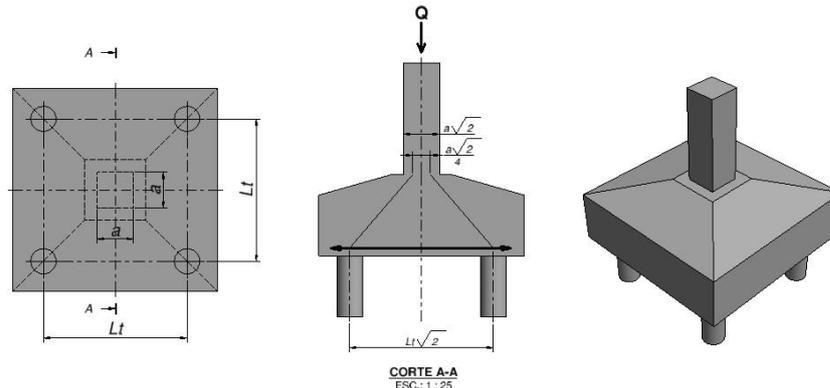
$$N'am = \frac{q}{9.h} \cdot (l_t \sqrt{3} - 0,9.a) \cong \frac{Q.l_t \cdot \sqrt{3}}{9.h} \left( 1 - \frac{a}{2.l_t} \right)$$

As armaduras dispostas ao longo dos lados devem equilibrar um esforço.

$$N'ac = \frac{N'am}{\sqrt{3}} \cong \frac{Q.l_t}{9.h} \left( 1 - \frac{a}{2.l_t} \right)$$

Bloco sobre quatro estacas:

**Figura 6:** Bloco sobre quatro estacas



(L. BLEVOT e R. FRÉMY – Elaborado pelo autor)

As armaduras dispostas ao longo das diagonais devem equilibrar um esforço:

$$N'_{ad} = \frac{Q \cdot lt \cdot \sqrt{2}}{8 \cdot h} \cdot \left(1 - \frac{a}{2 \cdot lt}\right)$$

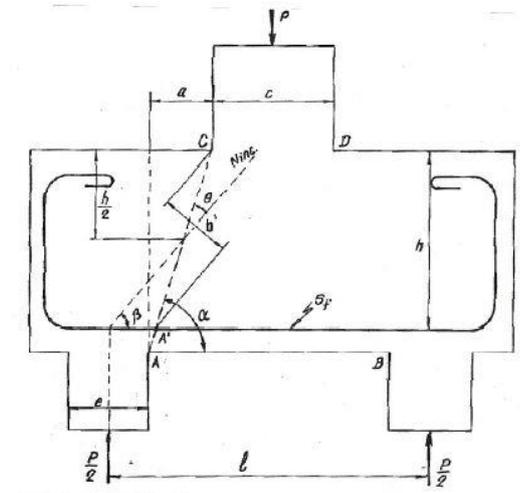
As armaduras dispostas ao longo dos lados devem equilibrar um esforço:

$$N'_{ac} = \frac{N'_{ad}}{\sqrt{2}} \cong \frac{Q \cdot lt}{8 \cdot h} \left(1 - \frac{a}{2 \cdot lt}\right)$$

- Ensaio de Mautoni (1972):

Através de ensaios realizados, Mautoni determinou o mecanismo de ruína por meio de comparação de uma expressão da taxa crítica de armadura ( $\mu_{crit.}$ ) e a carga de ruptura do bloco. De modo que a ruína se dá por escoamento da armadura se sua porcentagem for inferior a ( $\mu_{crit.}$ ). Caso seja maior, a ruína se dá por cisalhamento no plano comprimido A'C''. (SORDI, AMANN. 2023)

**Figura 7:** Modelo esquemático do ensaio de Mautoni



(SORDI, AMANN. 2023)

- Ensaio de Miguel (2000):

Por meio de ensaios experimentais, MIGUEL (2000) estudou o comportamento de blocos rígidos sobre três estacas dimensionados pelo Método das Bielas (BLÉVOT e FRÉMT, 1967).

Na fase experimental foi dividido o ensaio dos blocos em dois grupos, (Figura 7), em que cada grupo apresenta à estaca com diâmetro diferente, sendo os blocos do Grupo 1 com diâmetro das estacas igual a 30 cm e Grupo 2 de 20 cm. (MIGUEL, 2000)

A primeira série de ensaios, definida como série A1, foi estudado blocos somente com armadura principal posicionadas de modo a unir as estacas. (MIGUEL, 2000)

Na série A2 a armadura secundária foi posicionada passando pela projeção do pilar, na série A3 a armadura era uma malha posicionada na base e na série A4 a armadura era em forma de estribo verticais e horizontais. (MIGUEL, 2000)

**Figura 8:** Grupos de modelos experimentais

Série	Grupo 1 - B30 (D = 30 cm)	Grupo 2 - B20 (D = 20 cm)	
série A1 (3 blocos)	Armadura principal unindo as estacas		
	B30A1/1	B20A1/1	B20A1/2
série A2 (2 blocos)	Armadura principal + Armadura passando pelo pilar		
	B30A2	B20A2	
série A3 (2 blocos)	Armadura principal + Armadura em malha		
	B30A3	B20A3	
série A4 (2 blocos)	Armadura principal + Armadura em "gaiola"		
	B30A4	B20A4	

(MIGUEL, 2000)

O método da biela (BLÉVOT e FRÉMT, 1967) mostrou-se conservador, pois o valor da força última experimental ( $F_u$ ), para todos os modelos, são maiores que a força teórica ( $F_{teo}$ ) indicando margem de segurança mínima de 12%. (MIGUEL, 2000)

O método das bielas se apresentou muito conservador no cálculo das forças elevadoras. A diferença entre esses valores teóricos e experimentais dos esforços é mais significativo para blocos com estacas de diâmetro  $\varnothing 20$  cm, principalmente para a série A2. (MIGUEL, 2000)

### 3.2.2. Fundação profunda – Estacas:

A seguir encontram-se descritos os principais tipos de estacas utilizadas na atualidade.

- Estacas de madeira:

No Brasil não se é utilizado estacas de madeira para construções permanentes, somente para construções provisórias, e mesmo assim deve haver um estudo bem elaborado do solo para verificar o nível de água. Não é aconselhado a utilização de estacas de madeira com água devido ao elevado índice de desgaste da madeira e apodrecimento. (VELLOSO, 2010)

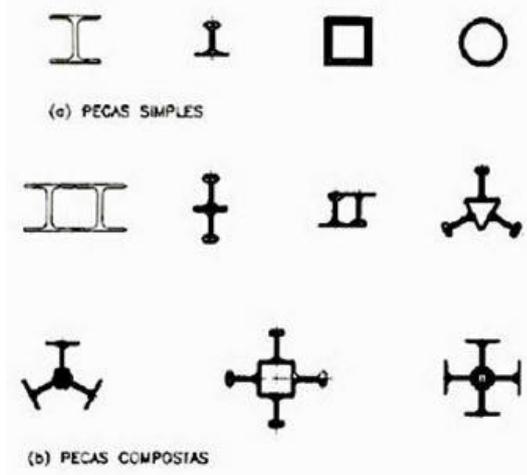
As vantagens desse tipo de estaca é a facilidade de manuseio, de corte e preparação para a cravação. A ponta da estaca deve ser corta de forma cônica com uma altura de 1,2 vezes o diâmetro para solos resistentes, e 2 vezes o diâmetro para solo fraco. (VELLOSO, 2010)

- Estacas metálicas:

Os tipos de aço mais utilizados para estacas metálicas é o ASTM A-36 e ASTM A572 Grau 50, podendo ser adicionado uma porcentagem de cobre para resistir à corrosão. (HACHICH et al, 1998)

São encontradas estacas metálicas de diversas formas, sendo: Perfis laminados ou soldados e tubos, entre os perfis laminados estão os trilhos usados. (HACHICH et al, 1998)

**Figura 9:** Seções transversais de estacas metálicas



(HACHICH, 1998)

Esse tipo de estaca apresenta uma grande vantagem na sua execução por permitir uma cravação fácil e provida de baixa vibração. (HACHICH et al, 1998)

Pode ser uma solução vantajosa também quando o subsolo se estende à divisa do terreno, pois servem como elemento de contenção do terreno de divisa e como fundação para a nova construção. (HACHICH et al, 1998)

- Estacas pré-moldadas:

Estacas pré-moldadas são aquelas moldadas no canteiro ou usina e sua classificação se dá quanto à forma de sua confecção: Concreto vibrado, concreto centrifugado, extrusão e quanto sua armadura: Concreto armado e concreto protendido. (HACHICH et al, 1998; VELLOSO, 2010)

Para espaçamento entre as estacas é adotado como prática o espaçamento mínimo de duas vezes e meia o diâmetro da estaca e nunca inferior a 60 cm. (HACHICH et al, 1998; VELLOSO, 2010)

- Estaca Strauss:

Estaca moldada em campo utilizando um tripé com guincho, um pilão, uma ferramenta de escavação, tubos de revestimento e sonda. (HACHICH et al, 1998; VELLOSO, 2010)

O processo consiste na retirada de solo através de sonda ou piteira e a introdução simultânea de tubos metálicos rosqueáveis entre si, até atingir a profundidade desejada, e posteriormente a concretagem e retirada do tubo metálico. (HACHICH et al, 1998; VELLOSO, 2010)

Uma grande vantagem da estaca Strauss em comparação com a pré-moldada é o preenchimento de todos os espaços vazios entre a estaca e o solo aumentando o atrito lateral, fato que não ocorre na esta pré-moldada. (HACHICH et al, 1998; VELLOSO, 2010)

- Estaca tipo Franki:

A estaca do tipo Franki são descritas pela utilização de uma base alargada ou bulbo preenchido com material granular (revestimento seco) ou concreto. O concreto utilizado na base é praticamente seco, permitindo o forte apiloamento necessário para alargar a base. (VELLOSO, 2010)

- Estaca Raiz:

A estaca raiz é executada por perfuração rotativa, com circulação de água ou lama bentonítica, logo é inserido a armação em todo o comprimento da estaca e preenchido com argamassa de cimento-areia. São utilizados equipamentos de pequeno porte podendo assim ser executado em qualquer situação. (VELLOSO, 2010)

A argamassa de cimento-areia é bombeada através de um tubo que vai saindo do furo à medida que insere a argamassa, e a cada etapa de injeção da argamassa são dados golpes de ar comprimido que adensam a argamassa e promovem o contato com o solo, favorecendo o atrito lateral. (VELLOSO, 2010)

- Estaca tipo Hélice Contínua:

Sistema de estaca muito utilizada em grandes centros urbanos por apresentar uma grande vantagem de apresentar menor emissão de ruídos e ser mais rápida. (AECWEB, 2023)

O processo consiste na execução do furo através de uma hélice helicoidal que ao chegar na profundidade desejada a hélice é retirada do furo e simultaneamente é injetado a argamassa. Após a retirada do trado e o furo preenchido por completo de argamassa é colocado a armação. (AECWEB, 2023)

- Estaca prensada:

A estaca prensada é executada através de perfis metálicos ou de concreto armado que são introduzidas no terreno com o auxílio de macaco hidráulico. Exemplo de estaca prensada é: Estaca Mega. (CARLUC, 2023)

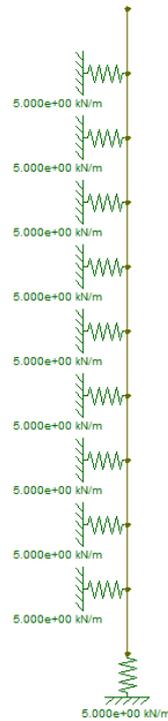
### **3.3. Transferência de carga no sistema estaca-solo:**

O estudo aprofundado da interação solo-estrutura é de grande importância para a segurança da construção, pois o comportamento e estabilidade da estrutura depende muito da fundação e de como o solo se comporta com a nova carga. (ESTUDE ENGENHARIA, 2023; PINTO, 2023 et al)

São utilizados dois modelos de cálculo para analisar o comportamento do solo, no primeiro o solo é substituído por um sistema de molas, assim não se considera no cálculo da superestrutura um apoio indeslocável e sim um provável deslocamento da estrutura. Esse modelo de cálculo apresenta os esforços atuantes na estrutura de forma mais realista, figura 10. (ESTUDE ENGENHARIA, 2023; PINTO, 2023 et al)

No segundo modelo de cálculo o solo é analisado por elementos finitos, nesse modelo é possível analisar as tensões atuantes nas camadas inferiores de solo e seus possíveis deslocamentos e recalque. (ESTUDE ENGENHARIA, 2023; PINTO, 2023 et al)

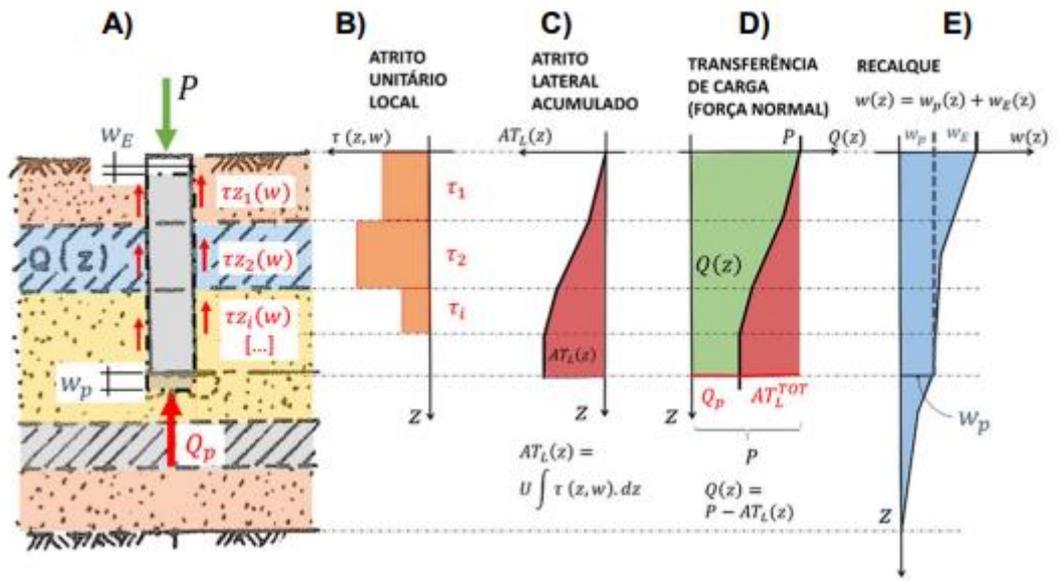
Figura 10: Representação da transferência de carga da estaca considerando apoio por mola



Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 11 a seguir é apresentado um breve resumo de como funciona a transferência de carga no sistema estaca solo.

Figura 11: Transferência de carga da estaca para o solo



Fonte: Caviglione e Reis (2018)

#### 4. Apresentação dos resultados

##### 4.1. Planilha para dimensionamento do bloco de coroamento e estacas:

Foi desenvolvido um software simples no Excel para verificação de blocos de coroamento com duas, três, quatro e cinco estacas.

Na entrada de informações do programa são inseridas informações como: Boletim de sondagem da obra, tipo de estaca utilizada, diâmetro da estaca, seção do pilar, carga de compressão atuante na fundação, fck do concreto, classe de agressividade ambiental e comprimento das estacas, conforme apresenta a figura 12.

**Figura 102:** Informações para início do dimensionamento

INFORMAÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO	
Tipo de estaca	Estaca hélice contínua
Ø de estaca	30 cm
Maior lado do pilar	40 cm
Menor lado do pilar	30 cm
Carga de compressão	8.000,00 kgf
Concreto	Fck = 25 MPa
Classe de agressividade ambiental	CAA-III
Comprimento das estacas	15,0 m
Tensão admissível da	350 KN
Número de	3
Armadura do pilar	4ø 12,5 mm

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao inserir as informações, o programa calcula o número de estacas em função da tensão admissível da estaca.

A próxima etapa consiste em calcular a Tensão admissível do solo em função do número do SPT encontrado na cota de assentamento do bloco,

**Figura 113:** Tensão admissível do solo

**Tensão admissível do solo**

**Expressão de Terzaghi aplicável para solos argilosos:**

$$q_a = 1,3 N \left(1 + \frac{0,3B}{L}\right) \text{ (t/m}^2\text{)}$$

$q_a$  = Tensão admissível do solo;  
 $N$  = Número de golpes dos 30 cm finais do SPT;  
 $B$  = Menor dimensão da fundação em metros;  
 $L$  = Maior dimensão da fundação em metros;

Simplificando a expressão de Terzaghi:

$$q_a = 1,3 \cdot NSPT \cdot \left(1 + \frac{0,3}{L} \cdot 1\right)$$

$$q_a = 1,3 \cdot NSPT \cdot \left(1 + \frac{0,3}{L}\right)$$

$$q_a = 1,3 \cdot 1,3 \cdot NSPT$$

$$q_a = 1,7 \cdot NSPT$$

Cota de assentamento do Bloco → 2,0 m

SPT encontrado na cota de assentamento do Bloco → 2

Tensão admissível do solo → 3,4 kgf/cm<sup>2</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor

Após todas as informações necessárias para o dimensionamento serem inseridas o software calcula automaticamente às dimensões dos blocos e suas armaduras, segue imagens exemplificando os cálculos para o bloco sobre duas estacas, três, quatro e cinco.

- Bloco sobre duas estacas:

Na figura 14 é calculado a altura útil do bloco de coroamento para duas estacas em função do comprimento de ancoragem da armadura

**Figura 124:** Dimensionamento do Bloco sobre duas estacas

**BLOCO SOBRE DUAS ESTACAS**

**Altura útil**

- Distância de centro das estacas (Dist.cent.e) → 90 cm
- Diâmetro da estaca (øEst.) → 30 cm
- Maior dimensão do pilar (ap) → 40 cm

Dist.cent.e = 3,0 øe

$$d_{\min} = 0,5 \left( e - \frac{ap}{2} \right) \rightarrow d_{\min} = 35 \text{ cm}$$

$d_{\text{adotado}} \rightarrow 40,5 \text{ cm}$  ←  $d_{\min} \leq d \leq d_{\max}$

$$d_{\max} = 0,71 \left( e - \frac{ap}{2} \right) \rightarrow d_{\max} = 50 \text{ cm}$$

$$d' \geq \frac{a_{est}}{5} = \frac{\sqrt{\pi} \cdot x_{est}}{5} \rightarrow d' \geq 2,4 \text{ cm}$$

$d' \text{ adotado} = 10 \text{ cm}$

$$\tan \alpha = \frac{d}{\frac{e}{2} - \frac{ap}{4}} \rightarrow d = \tan \alpha \cdot \left( \frac{e}{2} - \frac{ap}{4} \right) \rightarrow 40 \text{ cm}$$

Segundo Machado (1985) a biela comprimida deve ter uma angulação entre 45° e 55°. Substituindo o  $\alpha$  por 45° e 55° têm-se o intervalo de variação para  $d$ :

- $d > l_b, \text{epil}$
- $l_b, \text{epil}$  = Comprimento de ancoragem da armadura do pilar

$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow F = A \cdot \sigma \rightarrow F_{lim} = A_s \cdot f_{yd}$$

$A_s \cdot sup. \times f_{bd} = A_s \times f_{yd}$

$$l_b \cdot \pi \cdot \theta \cdot f_{bd} = \pi \cdot \frac{\theta^2}{4} \cdot f_{yd} \rightarrow l_b \cdot f_{bd} = \frac{\theta}{4} \cdot f_{yd} \rightarrow l_b = \frac{\theta}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

$$f_{bd} = N1 \cdot N2 \cdot N3 \cdot f_{ctd} \rightarrow f_{bd} = 2,89 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{0,7 \cdot f_{ct,m}}{\gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}}{\gamma_c} \rightarrow f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot f_{ck}^{2/3}}{1,4} \rightarrow f_{ctd} = 1,28 \text{ MPa}$$

N1 = 2,25	N1 { 1,0 para barras lisas; 1,4 para barras entalhadas; 2,25 para barras nervuradas;	N2 { 1,0 para situações de boa aderência; 0,7 para situações de má aderência;	N3 { 1,0 para $\phi \leq 32 \text{ mm}$ ; (132 - $\phi$ )/100 para $\phi \geq 32 \text{ mm}$ ;
N2 = 1,00			
N3 = 1,00			

**Comprimento de ancoragem básico:**

$$l_b = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}} \leq 25\phi \rightarrow l_b = 47,08 \text{ cm}$$

$$f_{yd}(\text{Aço CA50}) = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ MPa}}{1,15} \rightarrow 434,8 \text{ MPa} \rightarrow f_{yd} = 4433,5 \text{ kgf/cm}^2$$

h = d + d' → 50,5 cm  
 h = 50,5 cm  
 Cobrimento na face inferior do bloco → 20 cm

h = 70,5 cm
h = 70 cm

Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 15 faz-se a verificação das bielas de compressão. A carga que vem do pilar é distribuída através da biela de compressão gerada, e assim calcula-se a tensão atuante no bloco pelo pilar  $\sigma_{cd,b,pil}$  e pela estaca  $\sigma_{cd,b,est}$  que deve ser menor que a tensão resistente máxima, calculada por  $1,4 \cdot K_r \cdot f_{cd}$ .

Figura 135: Verificação das Bielas

**VERIFICAÇÃO DAS BIELAS**

- Ab = Área da biela;
- Ap = Área do pilar; → 1200 cm<sup>2</sup>
- Ae = Área da estaca; → 706,5 cm<sup>2</sup>
- Substituindo  $\alpha$  pelo valor de 45° temos:

No pilar :  $\text{sen } \alpha = \frac{Ab}{Ap/2} \rightarrow Ab = \frac{Ap}{2} \cdot \text{sen } \alpha$

Na estaca :  $\text{sen } \alpha = \frac{Ab}{Ae} \rightarrow Ab = Ae \cdot \text{sen } \alpha$

• A tensão de compressão atuante na biela relativa ao pilar e à estaca é:

→ No pilar:  $\sigma_{cd,b,pil} = \frac{Nd}{2 \cdot \text{sen } \alpha \cdot \frac{Ap}{2} \cdot 2 \cdot \text{sen } \alpha} = \frac{Nd}{Ap \cdot \text{sen}^2 \alpha} \rightarrow \sigma_{cd,b,pil} = 12,89 \text{ MPa}$

→ Na estaca:  $\sigma_{cd,b,est} = \frac{Nd}{2 \cdot \text{sen } \alpha \cdot \frac{Ap}{2} \cdot 2 \cdot \text{sen } \alpha} = \frac{Nd}{2 \cdot Ae \cdot \text{sen}^2 \alpha} \rightarrow \sigma_{cd,b,est} = 10,95 \text{ MPa}$

• As tensões atuantes devem ser menores que as tensões resistentes (máximas ou últimas), Blévoit considerou:

$$\sigma_{cd,b,pil} = \sigma_{cd,b,est} = 1,4 \cdot K_r \cdot f_{cd} \rightarrow \sigma_{cd,b,pil} = \sigma_{cd,b,est} = 23,75 \text{ MPa}$$

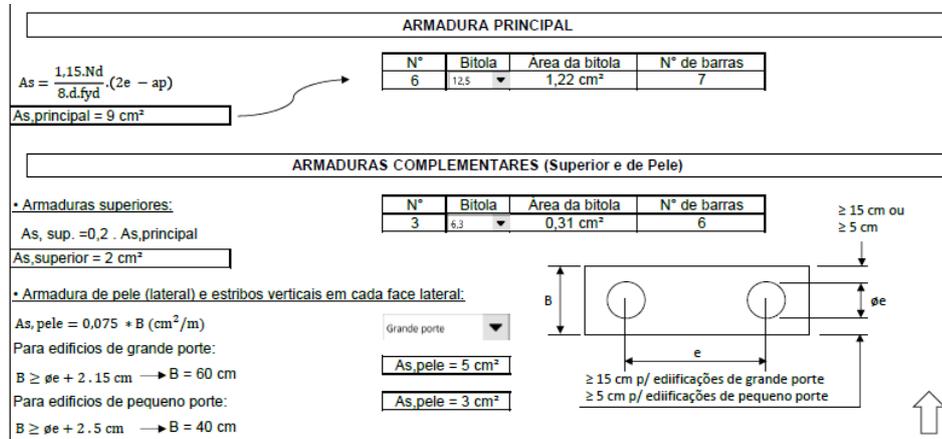
Sendo:  $K_r = 0,9$  a  $0,95$

Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 16 é calculado a armadura principal e complementar do bloco, sendo: Armadura principal para resistir ao esforço de tração imposta pela biela de compressão, e a armadura fica posicionada na parte inferior próximo às estacas. A

armadura complementar serve para controlar a fissuração e fica posicionada nas extremidades do bloco.

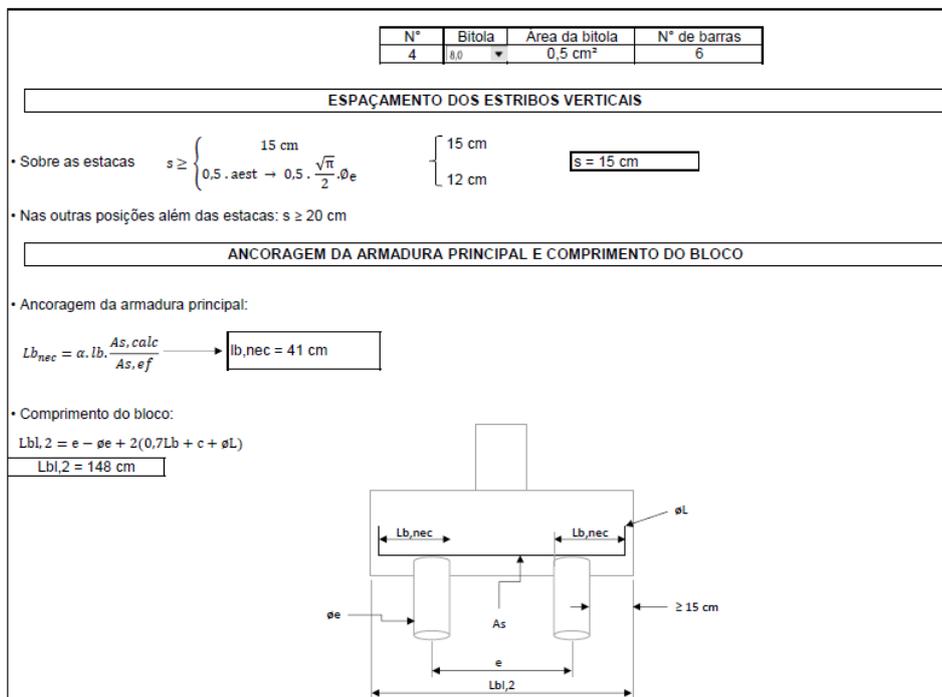
**Figura 146:** Armadura principal e complementar



Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 17 apresenta o espaçamento necessário para os estribos e o cálculo da ancoragem da armadura principal. Em função da ancoragem se determina o comprimento do bloco.

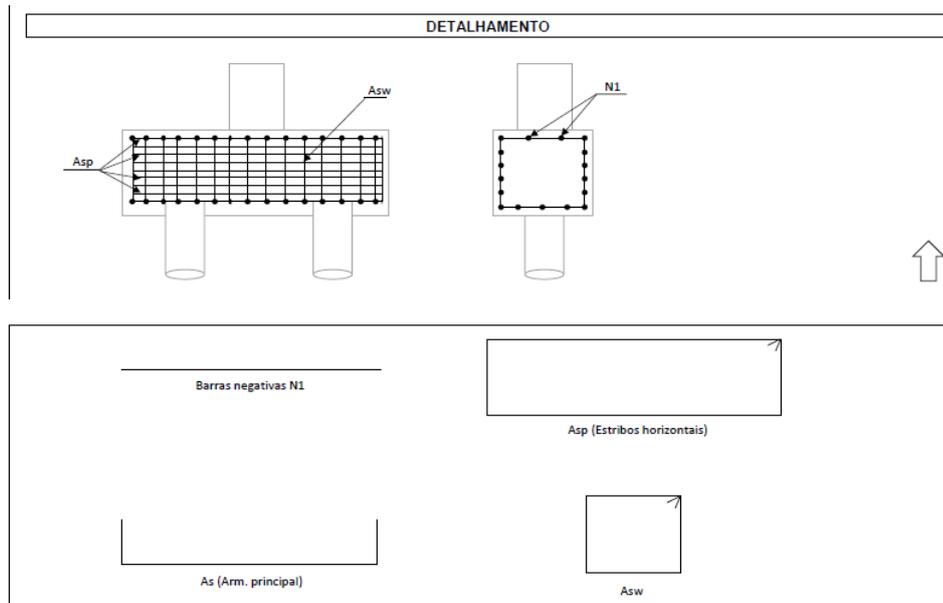
**Figura 157:** Detalhe da ancoragem da armadura principal



Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim na figura 18 é realizado o detalhamento do bloco, indicando o posicionamento das armaduras principais e complementares.

**Figura 168:** Detalhamento da armadura

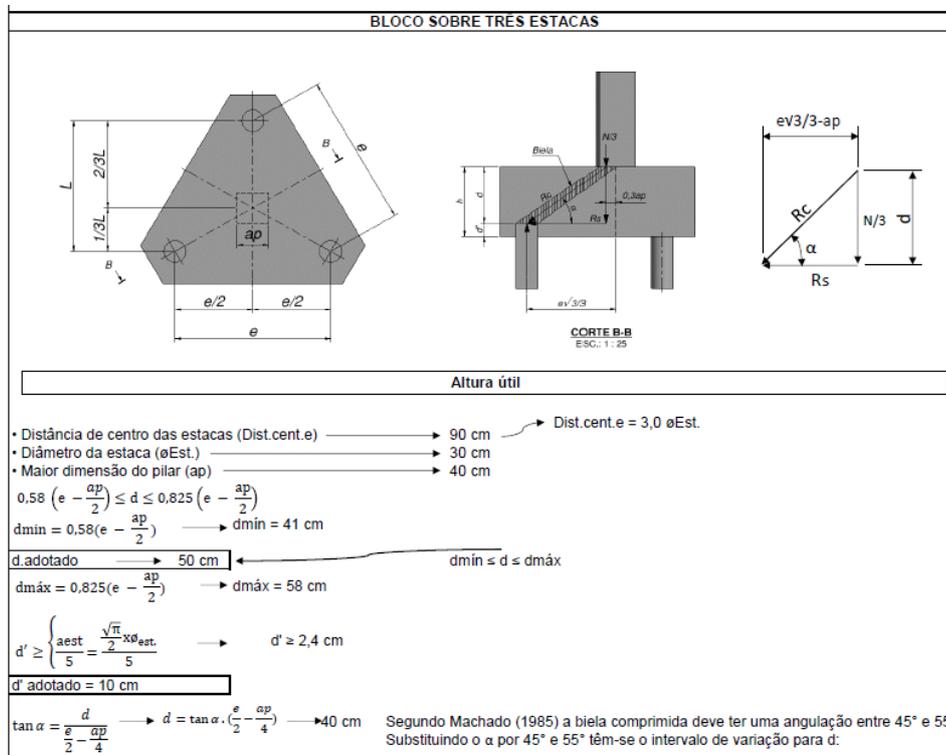


Fonte: Elaborado pelo autor

Seguindo o mesmo roteiro apresentado anteriormente calcula-se o bloco para três, quatro e cinco estacas.

- Bloco sobre três estacas

**Figura 19:** Bloco sobre três estacas



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 20: Altura do bloco sobre três estacas

$d > lb, \phi_{pil}$   
 $lb, \phi_{pil}$  = Comprimento de ancoragem da armadura do pilar  
 $\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow F = A \cdot \sigma \rightarrow Flim = As \cdot f_{yd}$   
 $As, sup. \times f_{bd} = As \times f_{yd}$   
 $lb \cdot \pi \cdot \theta \cdot f_{bd} = \pi \cdot \frac{\theta^2}{4} \cdot f_{yd} \rightarrow lb \cdot f_{bd} = \frac{\theta}{4} \cdot f_{yd} \rightarrow lb = \frac{\theta}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$   
 $f_{bd} = N1 \cdot N2 \cdot N3 \cdot f_{ctd} \rightarrow f_{bd} = 3,26 \text{ MPa}$   
 $f_{ctd} = \frac{f_{ctk, inf}}{\gamma_c} = \frac{0,7 \cdot f_{ct, m}}{\gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}}{\gamma_c} \rightarrow f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot f_{ck}^{2/3}}{1,4} \rightarrow f_{ctd} = 1,45 \text{ MPa}$   

N1 = 2,25	N1 { 1,0 para barras lisas; 1,4 para barras entalhadas; 2,25 para barras nervuradas;	N2 { 1,0 para situações de boa aderência; 0,7 para situações de má aderência;	N3 { 1,0 para $\phi \leq 32 \text{ mm}$ ; (132 - $\phi$ )/100 para $\phi \geq 32 \text{ mm}$ ;
N2 = 1,00			
N3 = 1,00			

  
**Comprimento de ancoragem básico:**  
 $lb = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}} \leq 25\phi \rightarrow lb = 41,70 \text{ cm}$   
 $f_{yd}(\text{Aço CA50}) = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ MPa}}{1,15} \rightarrow 434,8 \text{ MPa} \rightarrow f_{yd} = 4433,5 \text{ kgf/cm}^2$   
 $h = d + d' \rightarrow 60 \text{ cm}$   
 $h = 60 \text{ cm}$   
 Cobrimento na face inferior do bloco  $\rightarrow 20 \text{ cm}$  }

Fonte: Elaborado pelo autor

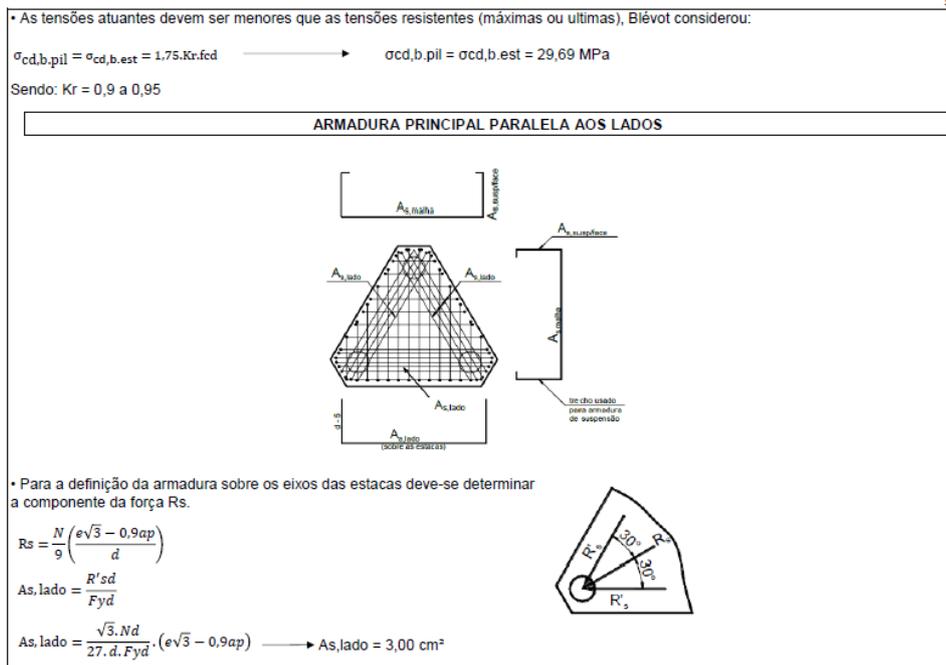
Figura 21: Verificação das bielas

**VERIFICAÇÃO DAS BIELAS**

•  $Ab$  = Área da biela;  
 •  $Ap$  = Área do pilar;  $\rightarrow 1200 \text{ cm}^2$   
 •  $Ae$  = Área da estaca;  $\rightarrow 706,5 \text{ cm}^2$   
 • Substituindo  $\alpha$  pelo valor de  $45^\circ$  temos:  
 No pilar :  $\text{sen } \alpha = \frac{Ab}{Ap/3} \rightarrow Ab = \frac{Ap}{3} \text{sen } \alpha$   
 Na estaca :  $\text{sen } \alpha = \frac{Ab}{Ae} \rightarrow Ab = Ae \cdot \text{sen } \alpha$   
 • A tensão de compressão atuante na biela relativa ao pilar e à estaca é:  
 $\rightarrow$  No pilar:  $\sigma_{cd, b, pil} = \frac{Nd}{3 \cdot \text{sen } \alpha \cdot \frac{Ap}{3} \cdot \text{sen } \alpha} = \frac{Nd}{Ap \cdot \text{sen}^2 \alpha} \rightarrow \sigma_{cd, b, pil} = 12,89 \text{ MPa}$   
 $\rightarrow$  Na estaca:  $\sigma_{cd, b, est} = \frac{Nd}{3 \cdot \text{sen } \alpha \cdot Ae \cdot \text{sen } \alpha} = \frac{Nd}{3 \cdot Ae \cdot \text{sen}^2 \alpha} \rightarrow \sigma_{cd, b, est} = 7,30 \text{ MPa}$

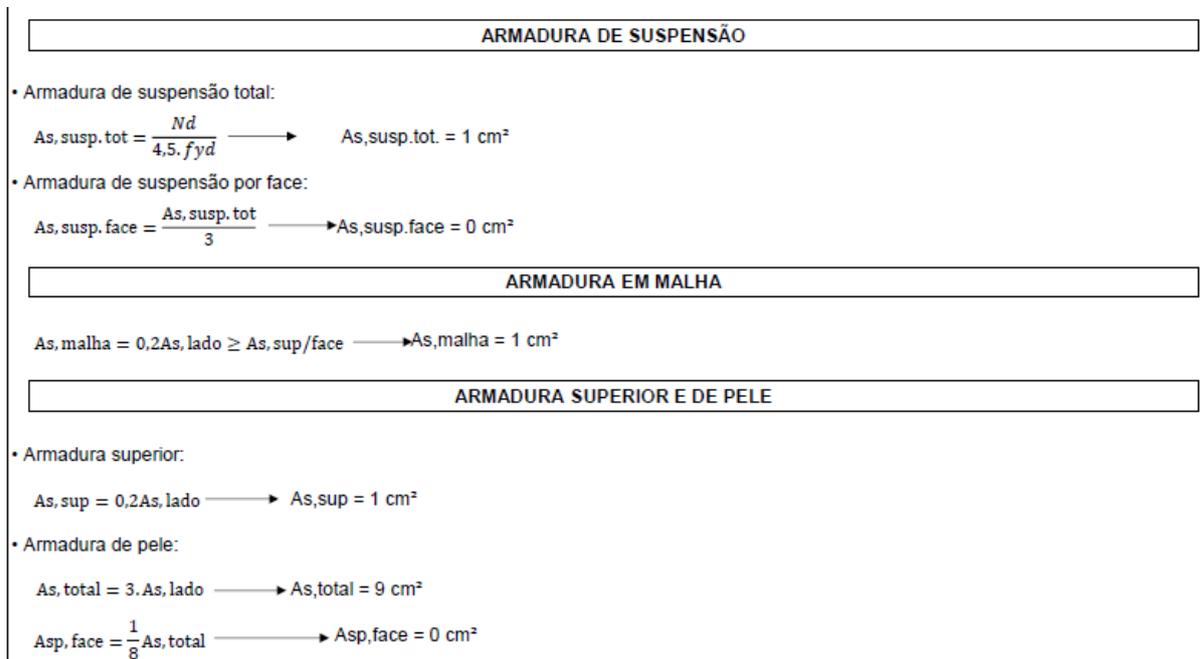
Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 22:** Cálculo da armadura principal



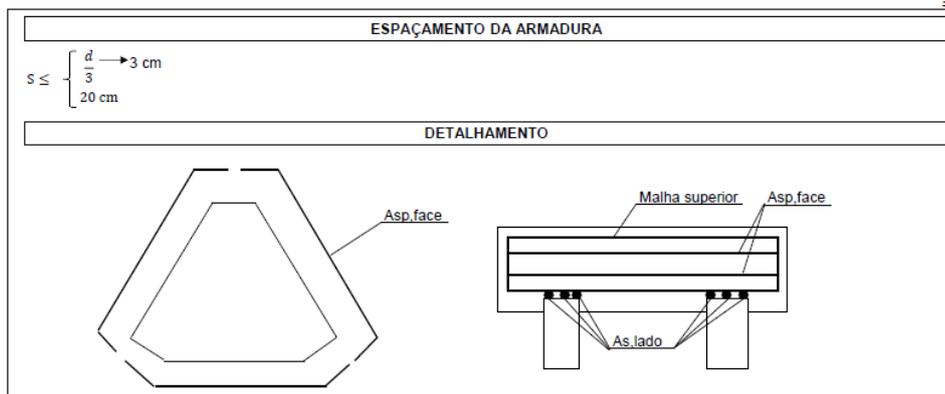
Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 23:** Cálculo da armadura de suspensão, em malha e de pele



Fonte: Elaborado pelo autor

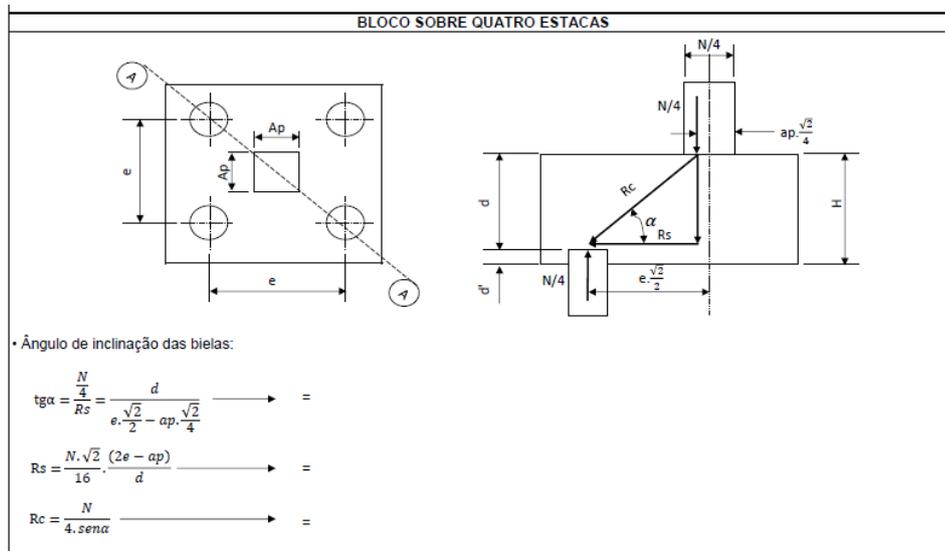
**Figura 24:** Espaçamento e detalhamento da armadura



Fonte: Elaborado pelo autor

- Bloco sobre quatro estacas

**Figura 25:** Bloco sobre quatro estacas



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 26: Altura útil

**ALTURA ÚTIL**

- Distância de centro das estacas (Dist.cent.e) → 120 cm → Dist.cent.e = 4,0 øEst.
- Diâmetro da estaca (øEst.) → 30 cm
- Maior dimensão do pilar (ap) → 40 cm

Deve-se ter  $45^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$

$d_{\min} = 0,71 \cdot \left( e - \frac{ap}{2} \right) \rightarrow d_{\min} = 71 \text{ cm}$

$d_{\max} = e - \frac{ap}{2} \rightarrow d_{\max} = 100 \text{ cm}$  d adotado = 86 cm  
d adotado = 90 cm

$d' \geq \left( \frac{5 \text{ cm}}{5} \cdot \frac{a_{est.}}{5} \right) \rightarrow 26,6 \text{ cm}$

$a_{est.} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \phi e$

- $d > lb, \phi pil$
- $lb, \phi pil$  = Comprimento de ancoragem da armadura do pilar

$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow F = A \cdot \sigma \rightarrow Flim. = As \cdot Fyd$

$As, sup. \cdot x fbd = As \cdot fyd$

$lb \cdot \pi \cdot \theta \cdot fbd = \pi \cdot \frac{\theta^2}{4} \cdot fyd \rightarrow lb \cdot fbd = \frac{\theta}{4} \cdot fyd \rightarrow lb = \frac{\theta}{4} \cdot \frac{fyd}{fbd}$

$fbd = N1 \cdot N2 \cdot N3 \cdot fctd \rightarrow fbd = 3,26 \text{ MPa}$

$fctd = \frac{fctk, inf}{\gamma_c} = \frac{0,7 \cdot fct, m}{\gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 0,3 \cdot fck^{2/3}}{\gamma_c} \rightarrow fctd = \frac{0,21 \cdot fck^{2/3}}{1,4} \rightarrow fctd = 1,45 \text{ MPa}$

N1 = 2,25	N1 {	1,0 para barras lisas; 1,4 para barras entalhadas; 2,25 para barras nervuradas;	N2 {	1,0 para situações de boa aderência; 0,7 para situações de má aderência;	N3 {	1,0 para $\phi \leq 32 \text{ mm}$ ; (132 - $\phi$ )/100 para $\phi \geq 32 \text{ mm}$ ;
N2 = 1,00						
N3 = 1,00						

**Comprimento de ancoragem básico:**

$lb = \frac{\phi fyd}{4 fbd} \leq 25\phi \rightarrow lb = 41,70 \text{ cm}$

$fyd(Aço CA50) = \frac{fyk}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ MPa}}{1,15} \rightarrow 434,8 \text{ MPa} \rightarrow fyd = 4433,5 \text{ kgf/cm}^2$

$h = d + d' \rightarrow 117 \text{ cm}$

$h = 117 \text{ cm}$

Cobrimento na face inferior do bloco → 20 cm

$h = 137 \text{ cm}$   
 $h = 140 \text{ cm}$

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 27: Verificação das bielas

**VERIFICAÇÃO DAS BIELAS**

- $Ab$  = Área da biela;
- $Ap$  = Área do pilar; → 1200 cm<sup>2</sup>
- $Ae$  = Área da estaca; → 706,5 cm<sup>2</sup>
- Substituindo  $\alpha$  pelo valor de 45° temos:

No pilar :  $\text{sen } \alpha = \frac{Ab}{Ap/4} \rightarrow Ab = \frac{Ap}{4} \cdot \text{sen } \alpha$

Na estaca :  $\text{sen } \alpha = \frac{Ab}{Ae} \rightarrow Ab = Ae \cdot \text{sen } \alpha$

• A tensão de compressão atuante na biela relativa ao pilar e à estaca é:

→ **No pilar:**  $\sigma_{cd, b, pil} = \frac{Nd}{4 \cdot \text{sen } \alpha \cdot \frac{Ap}{4} \cdot \text{sen } \alpha} = \frac{Nd}{Ap \cdot \text{sen}^2 \alpha} \rightarrow \sigma_{cd, b, pil} = 12,89 \text{ MPa}$

→ **Na estaca:**  $\sigma_{cd, b, est} = \frac{Nd}{4 \cdot \text{sen } \alpha \cdot Ae \cdot \text{sen } \alpha} = \frac{Nd}{4 \cdot Ae \cdot \text{sen}^2 \alpha} \rightarrow \sigma_{cd, b, est} = 7,30 \text{ MPa}$

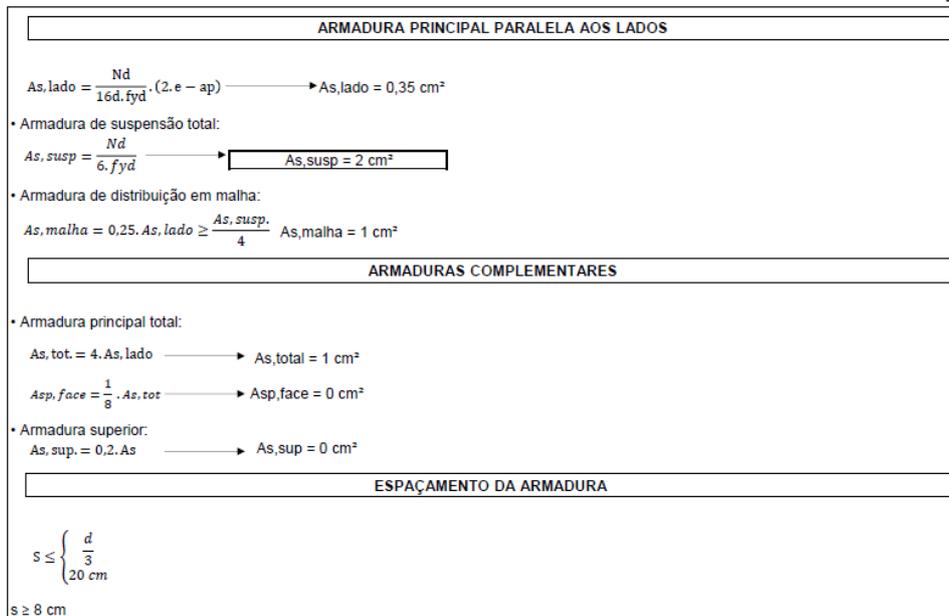
• As tensões atuantes devem ser menores que as tensões resistentes (máximas ou últimas), Bléviot considerou:

$\sigma_{cd, b, pil} = \sigma_{cd, b, est} = 2 \cdot 1 \cdot Kr \cdot fcd \rightarrow \sigma_{cd, b, pil} = \sigma_{cd, b, est} = 35,63 \text{ MPa}$

Sendo:  $Kr = 0,9$  a  $0,95$

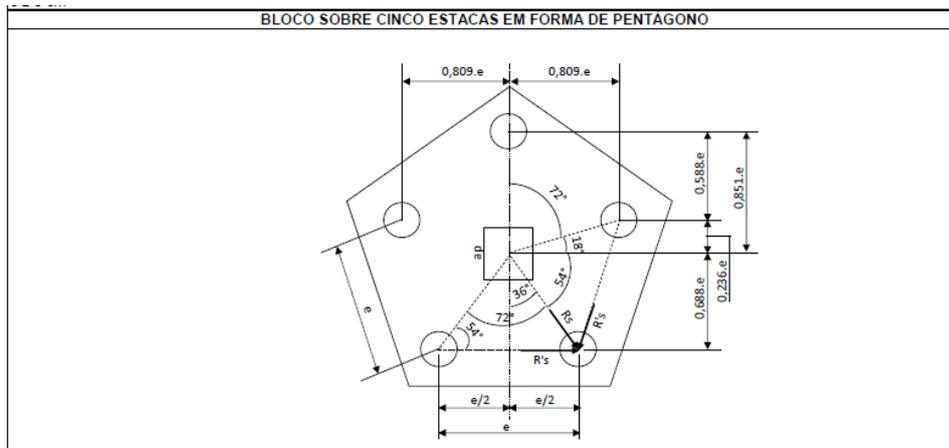
Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 28:** Armadura principal, complementar e espaçamento da armadura



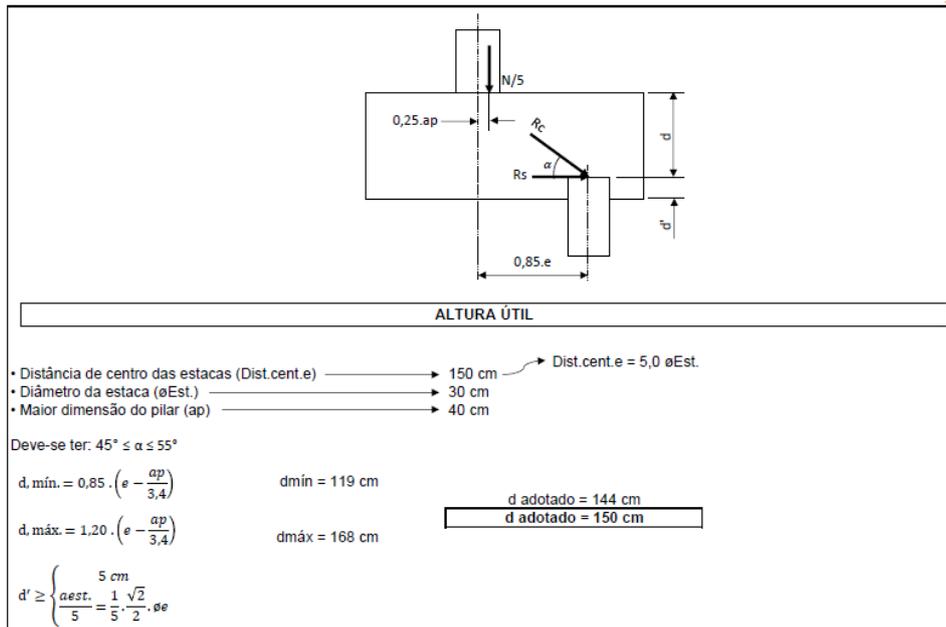
Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 29:** Bloco sobre cinco estacas



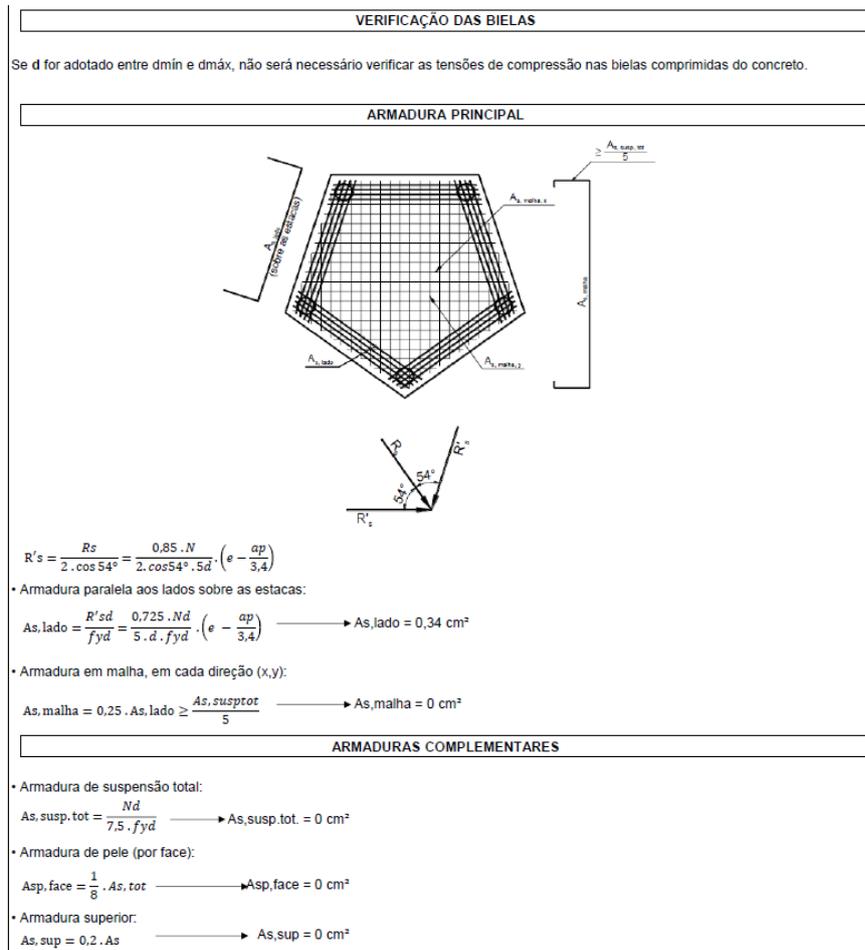
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 30: Altura útil



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 31: Altura útil, armadura principal e complementares



Fonte: Elaborado pelo autor

### **Considerações Finais**

O principal objetivo deste trabalho consistiu em analisar o comportamento do bloco sobre estacas. O estudo foi realizado com base na importância que esses elementos desempenham na estrutura geral.

Pode-se demonstrar que os métodos utilizados em projetos de blocos sobre estacas diferem entre si. Neste trabalho foram propostos diversos critérios de dimensionamento para blocos sobre estacas com o objetivo de desenvolver diretrizes para o seu dimensionamento.

Verificou-se que a treliça utilizada no método da biela é um modelo coerente para projeto de blocos sobre estacas, sendo o mais simples e amplamente utilizado.

A apresentação do roteiro de cálculo desenvolvido conclui o trabalho e pode ser utilizado para verificação rápida do projeto desenvolvido utilizando a fundação profunda de blocos de coroamento sobre estacas.

## Referências

AECWEB. **O que é estaca hélice contínua para fundações?** In: AECWEB. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/academy/aec-responde/o-que-e-estaca-helice-continua-para-fundacoes/24562>. Acesso em 06 de nov. de 2023.

APL – ENGENHARIA GEOTÉCNICA. **Descubra a importância da compactação do solo para obras de terra.** In: APL. Disponível em: <https://blog.apl.eng.br/descubra-a-importancia-da-compactacao-do-solo-para-obras-de-terra/>. Acesso em 17 de set. de 2023.

APL – ENGENHARIA GEOTÉCNICA. **Correlações de NSPT: Entenda como realizar de maneira correta.** In: APL. Disponível em: <https://blog.apl.eng.br/correlacoes-de-nspt-entenda-como-realizar-de-maneira-correta/>. Acesso em 23 de set. de 2023.

BRAGA, Fabiano de Vargas Arigony. **Estimativa dos parâmetros da resistência do solo ao cisalhamento através de podotransferência.** In Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3618/BRAGA,%20FABIANO%20DE%20VARGAS%20ARIGONY.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 22 de set. de 2023.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações.** 6 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. 1996.

CARLUC. **Tipos de estacas de fundação.** In CARLUC Engenharia e Consultoria. Disponível em: <https://carluc.com.br/elementos-construtivos/estacas-de-fundacao/>. Acesso em 06 de nov. de 2023.

CUNHA, Marcio Roberto da; MOURA, Everton Rodrigo de. **Análise da classificação dos blocos de coroamento sobre estacas quanto à sua rigidez, à luz do CEB-70 e da NBR 6118/2014.** In Abpe.org. Disponível em: <http://www.abpe.org.br/trabalhos2018/060.pdf>. Acesso em 23 de set. de 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA E RODAGEM (DNER). **Solos – Determinação do teor de umidade.** In GOV.br. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dner\\_me\\_213\\_94.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dner_me_213_94.pdf). Acesso em 21 de set. de 2023.

ESTUDE ENGENHARIA. **Transferência de carga estaca solo.** In estudeengenharia.com. Disponível em: <https://estudeengenharia.com/mecanismo-de-transferencia-de-carga-estaca-solo/>. Acesso em 08 de nov. de 2023.

FACULDADE SUDOESTE PAULISTA (FSP). **Capacidade de carga de fundações profundas.** In engenhariacivilfsp. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2013/11/capacidade-de-carga-de-fundac3a7c3b5es-profundas.pdf>. Acesso em 22 de set. de 2023.

GEOANALISYS. **Conheça os principais tipos de solo e suas fundações mais aconselháveis.** In: Geoanalysys. Disponível em:

<https://www.geoanalysys.com/conhec%CC%A7a-os-principais-tipos-de-solo-e-suas-fundac%CC%A7o%CC%83es-mais-aconselháveis/>. Acesso em 13 de set. de 2023.

J. BLÉVOT; R. FRÉMY. **Blocos sobre estacas**. Universidade estadual do Maranhão: Instituto Técnico de Construção Civil e Obras Públicas. 1967.

MAIS ENGENHARIA. **Interação solo estrutura e sua aplicação na análise de estruturas**. In: Mais engenharia. Disponível em: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/interacao-solo-estrutura-e-sua-aplicacao-na-analise-de-estruturas/>. Acesso em 08 de nov. de 2023.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

PINTO, Camila Patrícia Jeronymo. **Análise de estrutura com interação solo-estrutura e as molas de winkler**. In UFP. Disponível em: <https://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2020.2/analise-de-estrutura-com-interacao-solo-estrutura-e-as-molas-de-winkler.pdf>. Acesso em 08 de nov. de 2023.

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Porosidade do solo**. In USP. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3347796/mod\\_resource/content/1/Aula%20\\_%20Porosidade%20do%20solo.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3347796/mod_resource/content/1/Aula%20_%20Porosidade%20do%20solo.pdf). Acesso em 17 de set. de 2023.

VELLOSO, Dirceu de Alencar. **Fundações: Critérios de projeto, investigações do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. Volume único. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

SOUZA, Danielle Brandão de. **Análise numérica de blocos sobre estacas considerando a influência do solo**. In UFU. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/36112/6/An%3%A1liseNum%3%A9ricaBlocos.pdf>. Acesso em 29 de out. de 2023.

MENDONÇA, Fernanda Calado. **Dimensionamento de blocos de coroamento sobre estacas metálicas**. In UFPE. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/29623/1/DISSERTA%3%87%C3%83O%20Fernanda%20Calado%20Mendon%3%A7a.pdf>. Acesso em 29 de out. de 2023.

SANTOS, João Vitor Caldas. **Análise numérica em cálices de fundação em bloco sobre duas estacas**. In USP. Disponível em: [http://sistemas.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2022ME\\_JoaoVitorCaldasSantos.pdf](http://sistemas.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2022ME_JoaoVitorCaldasSantos.pdf). Acesso em 29 de out. de 2023.

TQS Docs. **Arranque de pilares**. In TQS. Disponível em: <https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=641048165&language=pt-br>. Acesso em 29 de out. de 2023. 39

SORDI, Daniel Britzki De; AMANN, Kurt André Pereira. **Blocos sobre 3 estacas**. In Centro Universitário FEI. Disponível em: <https://fei.edu.br/70anos/simposio/trabalhos/Civil/Bloco%20sobre%203%20Estacas.pdf>. Acesso em 31 de out. de 2023.

HACHICH, Waldemar; FALCONI, Frederico; SAES, José Luiz et al. **Fundações teoria e prática**. 2º edição. São Paulo: Editora PINI, 1998.