

FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS

CURSO: ENGENHARIA CIVIL

GUILHERME BRAZ DE ARAÚJO MELO

MATRÍCULA: 21213555

**ANÁLISE DO MÉTODO DAS BIELAS E TIRANTES EM BLOCOS DE
COROAMENTO COM DUAS ESTACAS**

Brasília
2018

GUILHERME BRAZ DE ARAÚJO MELO

**ANÁLISE DO MÉTODO DAS BIELAS E TIRANTES EM BLOCOS DE
COROAMENTO COM DUAS ESTACAS**

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB – Centro Universitário de Brasília.

Orientador: Eng^o Civil Guilherme Veiralves, M.Sc.

Brasília
2018

GUILHERME BRAZ DE ARAÚJO MELO

ANÁLISE DO MÉTODO DAS BIELAS E TIRANTES EM BLOCOS DE COROAMENTO COM DUAS ESTACAS

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB – Centro Universitário de Brasília.

Orientador: Eng^o Civil Guilherme Veiralves, M.Sc.

Brasília, 2018.

Banca Examinadora

Eng^o.Civil: Guilherme Veiralves, M.Sc.
Orientador

Eng^o. Civil: Flávio de Queiroz Costa.
Examinador Interno

Eng^o. Civil: Sandra P. E. Fernandez.
Examinadora Interna

RESUMO

Blocos sobre estacas são responsáveis por transferir as ações dos pilares para as estacas de fundação, e por isso, devem ser peças suficientemente rígidas para que a sua deformabilidade não afete os esforços atuantes na superestrutura e nem no próprio terreno de fundação. Estes blocos possuem fundamental importância na estabilidade estrutural. Entretanto, não existe no meio técnico uma doutrina majoritária, para calcular estes elementos. Cada autor e norma fazem considerações próprias no dimensionamento, que tem como resultados consideráveis diferenças entre os valores de tensões de compressão na biela e área de aço de acordo com o método de cálculo adotado. O presente trabalho analisou blocos de coroamento através da metodologia de BLÉVOT e FRÉMY (1967) e SANTOS (2013) com o objetivo de avaliar e discutir qual o modelo de dimensionamento para blocos rígidos de fundação sobre duas estacas mais eficiente. Por meio dos cálculos, onde a carga foi variada, obteve-se um resultado superior de 3% na área de aço pelo método de BLÉVOT e FRÉMY (1967) comparado ao de Santos.

Palavras-chave: concreto armado, blocos sobre estacas, dimensionamento.

ABSTRACT

Blocks on piles are responsible for transferring the actions of the piles to the foundation piles and therefore must be sufficiently rigid parts so that their deformability does not affect the forces acting on the superstructure or on the foundation ground itself. These blocks have fundamental importance in structural stability. However, there is no major doctrine in the technical environment to calculate these elements. Each author and standard make own considerations in the design, which results in considerable differences between the values of compression stresses in the rod and steel area according to the adopted calculation method. The present work analyzed crowning blocks through the methodology of BLÉVOT and FRÉMY (1967) and SANTOS (2013) with the objective of evaluating and discussing the scaffolding model for two foundation blocks on two more efficient piles. By means of the calculations, where the load was varied, a superior result of 3% in the steel area was obtained by BLÉVOT and FRÉMY (1967) method compared to Santos.

Keywords: Reinforced concrete, Staked blocks, Scaffolding

SUMÁRIO

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 3 |
| 2.1 | Objetivos gerais..... | 3 |
| 2.2 | Objetivos específicos..... | 3 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 4 |
| 3.1 | Divisão da estrutura em regiões B e D..... | 4 |
| 3.2 | Blévote & Frémy..... | 6 |
| 3.3 | Método de bielas e tirantes..... | 16 |
| 3.4 | Recomendações Normativas..... | 17 |
| 3.5 | Método de Santos..... | 19 |
| 4 | METODOLOGIA..... | 22 |
| 5 | APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS..... | 23 |
| 6 | CONCLUSÃO..... | 28 |
| 7 | SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS..... | 29 |
| 8 | BIBLIOGRAFIA..... | 30 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|--------------------------------------|
| Figura 1 - Divisão da estrutura em Regiões B e D | 4 |
| Figura 2 - Angulações | 5 |
| Figura 3 - Modelos de blocos sobre duas estacas ensaiados por Blévoet e Frémy. | 6 |
| Figura 4 - Blocos sobre duas estacas ensaiadas por Blévoet e Frémy. | 7 |
| Figura 5 - Tensão calculada na armadura em 83 blocos quando as bielas de concreto romperam. | 8 |
| Figura 6- Tensão calculada o concreto em 83 blocos quando romperam quando as bielas de concreto romperam | 8 |
| Figura 7 - Tensão no concreto quando a armadura rompe. | 9 |
| Figura 8 - O ângulo de inclinação θ entre a biela e o tirante | 10 |
| Figura 9 - Polígono de forças | 11 |
| Figura 10 - Geometria das bielas. | 13 |
| Figura 11 – altura dos elementos | Erro! Indicador não definido. |
| Figura 12 – Representação das incógnitas | 18 |
| Figura 13 - Equações dos nós..... | 19 |
| Figura 14 – Tensões limites sugeridos | Erro! Indicador não definido. |
| Figura 15 - Modelo proposto por Santos | 20 |
| Figura 16 – Comparativo Da área de aço..... | 25 |
| Figura 17 – Comparação das tensões na bielas ao pilar..... | 26 |

Figura 18 – Comparação tensão nas bielas junto a estaca.....26

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1– Resultados constantes do método de Santos. | 23 |
| Tabela 2– Resultados com as três cargas utilizadas, no método de Santos. | 23 |
| Tabela 3– Resultados constantes do método de Blévo e Frémy. | 24 |
| Tabela 4 – Resultados com as três cargas utilizadas no método de Blévo e Frémy. | 24 |
| Tabela 5– Diferença da quantidade de aço comparando o método de Santos com Blévo e Frémy | 24 |

ÍNDICE DE ABREVIações

| | |
|------------|--|
| ABNT..... | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| NBR..... | Norma Brasileira |
| CCC..... | Resiste à três forças compressivas |
| CCT..... | Resiste à duas forças compressivas e a uma força de tração |
| CTT..... | Resiste a uma força compressiva e à duas forças de tração |
| TTT..... | Resiste à três ou mais forças de tração |
| Rst..... | Resultante da tração dos Tirantes |
| Rcb..... | Resultante da compressão nas bielas |
| M.E.T..... | Modelo de Escoras e Tirantes |
| ACI..... | Norma Americana |

ÍNDICE DE SÍMBOLOS

Cm^2Centímetro quadrado

KN/cm^2QuiloNewton por centímetro quadrado

m.....Metros

m^2Metros quadrados

MPa.....Mega

Pascal

KN.....QuiloNewton

1 INTRODUÇÃO

Ao determinar o tipo de fundação a ser utilizada em uma estrutura depende de vários fatores, como a carga de projeto, os fatores de resistência do solo, fatores econômicos, e também a disposição das edificações vizinhas e a tradição construtiva do local. Desta forma, fica a cargo do engenheiro, avaliar e escolher a melhor solução a ser adotada para cada tipo construção.

Quando as forças transmitidas pelos pilares são altas e/ou o solo possui camadas superficiais de baixa resistência, é necessário o uso de fundações profundas, de estacas ou tubulões, ou seja, aquelas em que a carga é transmitida ao terreno através de sua base e/ou superfície lateral.

Quando se é utilizado uma das formas citadas acima, torna-se indispensável a construção de algum elemento capaz de transferir a carga atuante dos pilares à fundação. Elementos que são chamados de blocos de coroamento ou blocos sobre estacas.

A ABNT NBR 6118:2014 diz que o bloco sobre estacas são “estruturas de volume usadas para transmitir às estacas e aos tubulões as cargas de fundação”. São responsáveis pela estabilidade, seu comportamento deve ser corretamente conhecido, devido aos problemas de resistência que levam à deformação excessiva e as fissurações, dificilmente, serão observadas por inspeção visual.

Na área técnica da construção, não existe um consenso quanto à rotina de cálculo para bloco sobre estacas. Cada autor e norma fazem considerações diferentes no dimensionamento, que resultam em valores de tensões no concreto e área de aço diferentes a serem considerados de acordo com o método de cálculo adotado.

Várias são as bibliografias como Ramos (2007), Munhoz (2004), Alonso (1989), Moraes (1976) e Blévo e Frémy (1967), entre outros, que fazem as análises com blocos sobre até seis estacas, estudando as suas reações, tensões, bielas e estabelecendo critérios de verificação. Para blocos com uma quantidade

maior de estacas, quase não se encontra estudos na área experimental e dificilmente na área numérica.

Será estudado neste trabalho os seguintes aspectos, a revisão bibliográfica, contendo uma apresentação dos trabalhos relevantes para o tema. A revisão encontra-se dividida em pesquisas relevantes, recomendações normativas e uma introdução ao Método de Bielas e Tirantes. Após será dito a metodologia utilizada, seguido dos resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Avaliar e discutir os modelos e métodos de dimensionamento para blocos rígidos de fundação sobre estacas, através do estudo de um bloco de coroamento sobre duas estacas.

2.2 Objetivos específicos

a) Comparar os critérios de cálculos propostos pelo método pioneiro desenvolvido por Blévet e Frémy (1967) com o método de Santos (2013), cujo a NBR 6118:2014 o adotou em sua atualização.

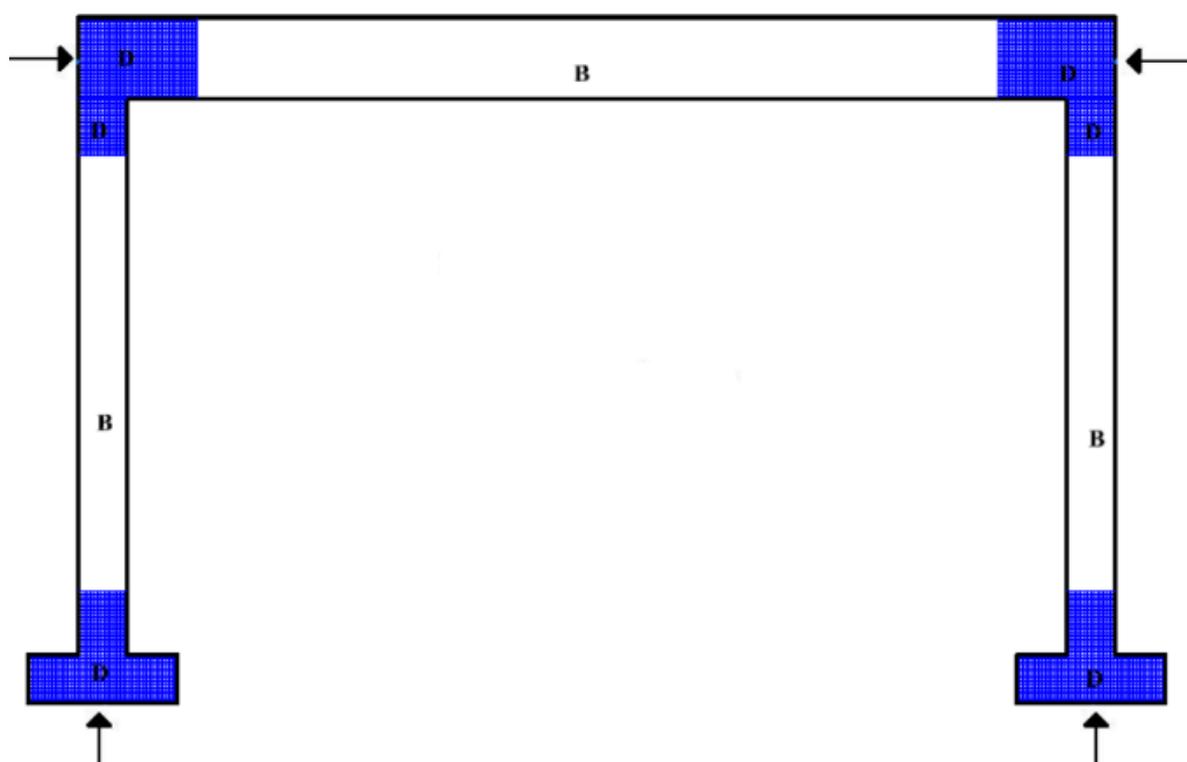
b) A partir dos diferentes processos de dimensionamento, analisar a variabilidade das áreas de aço, bem como das tensões na biela comprimida.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DIVISÃO DA ESTRUTURA EM REGIÕES B E D

Algumas estruturas podem ter regiões ou trechos onde, consideravelmente, as deformações normais variam linearmente ao longo de sua dimensão característica e há regiões onde esta simplificação não pode ser feita, denominadas assim de regiões B e D, respectivamente.

Figura 1 - Divisão da estrutura em Regiões B e D



Fonte: SAKAI, 2010

As regiões D, geralmente, é feito uma analogia às bielas e tirantes, pois possuem distribuição não linear, pelo fato de muitas vezes existir descontinuidades estáticas (cargas concentradas) ou geométricas (aberturas, reentrâncias). Com base em uma análise elástica linear, as tensões podem ser obtidas a partir dos esforços solicitantes, determinando as regiões B. Pode-se dividir em duas etapas o dimensionamento dessas regiões:

No dimensionamento ao esforço cortante, quando as armaduras transversais são dimensionadas e o concreto comprimido de escoras oriundas do

modelo de treliça generalizada é verificado, sendo um caso particular do método de escoras e tirantes.

No dimensionamento ao momento fletor, quando as armaduras longitudinais são dimensionadas e o concreto comprimido é verificado.

Schaich et al. (1988) sugerem que estrutura seja toda modelada e dimensionada através do método de escoras e tirantes. Mas para, Silva e Giongo (2000) e Montoya (2000) sugerem que se faça uma análise estrutural e depois divida a estrutura em regiões B e D, modelando apenas as regiões D depois de ter determinado os esforços solicitantes em seu contorno.

Agora, em relação a posição da descontinuidade, a ABNT NBR 6118:2014 localiza o limite das regiões B e D a uma distância igual à altura da seção transversal do elemento estrutural, de acordo com doutrina de Saint-Venant, que determina que a regularização das tensões ocorre em uma região com as dimensões de mesma ordem de grandeza da seção transversal do elemento.

Figura 2 - Angulações

| <i>Norma ou Autor</i> | <i>Intervalo de θ</i> |
|---------------------------|---|
| ABNT NBR 6118:2014 | $30^\circ \leq \theta \leq 63^\circ$ |
| ACI 318 (2008) | $\theta \geq 25^\circ$ |
| CEB-FIP Model Code (1990) | $18,4^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ |
| Eurocode 2 (1992) | $31^\circ \leq \theta \leq 59^\circ$ |
| Araújo (2010) | $\theta \geq 26,6^\circ$ |
| Fusco (1984) | $26^\circ \leq \theta \leq 63^\circ$ |
| Schlaich & Schafer (1991) | $45^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ |

Fonte: Mariana Medeiros

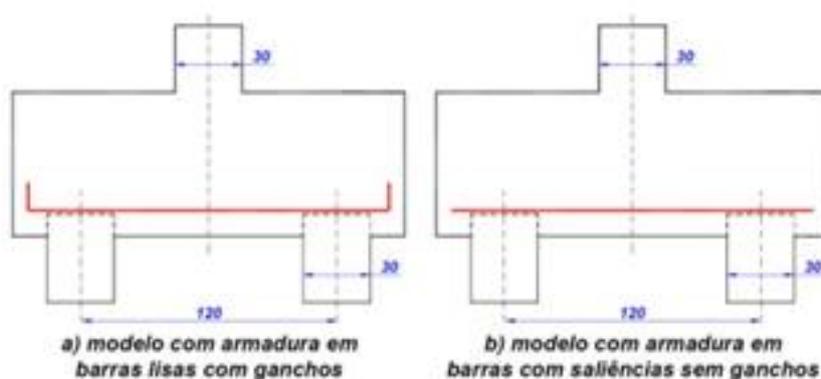
3.2 BLÉVOT & FRÉMY

O autor BLÉVOT (1957) teve como finalidade definir experimentalmente a validade dos resultados do método das bielas publicando resultados de um estudo sobre ensaios de blocos de coroamento sobre 3 e 4 estacas de concreto armado com diferentes configurações de armadura interna. Estes resultados demonstraram a importância do ângulo de inclinação da biela de concreto com relação ao eixo horizontal do bloco. Os valores onde o valor de (θ) foram próximos à 45° , levaram aos coeficientes de segurança aceitos, enquanto ao se admitir (θ) diferente de 45° , os coeficientes de segurança foram reduzidos.

Adiante, os pesquisadores franceses BLÉVOT & FRÉMY (1967) propuseram um modelo de dimensionamento para blocos sobre estacas, onde o tratamento não fosse feito seguindo a teoria de flexão de vigas. Foram feitos 116 ensaios sobre blocos com duas, três e quatro estacas e com diversas combinações de armaduras, com a intenção de comprovar e validar o seu método, chamado Método das Bielas.

Foram adotadas alturas para os blocos de forma que as bielas continuassem com uma inclinação superior a 40° em relação à horizontal. Desta forma, os modelos foram divididos em dois grupos: o primeiro, composto por arranjos de armaduras com barras lisas com ganchos. E o segundo, compostas por armaduras com barras nervuradas sem ganchos.

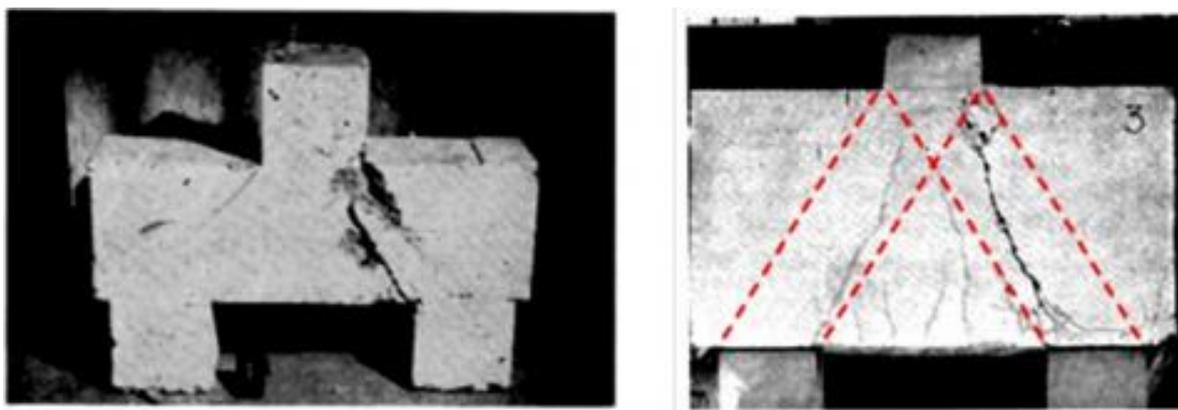
Figura 3 - Modelos de blocos sobre duas estacas ensaiados por Blévet e Frémy.



Fonte: MUNHOZ (2004)

Os ensaios demonstraram eventuais fissuras antes do colapso dos blocos, que ocorreu devido o esmagamento da biela de compressão de concreto próximo às estacas, ou próximos ao pilar, ou ainda pela ruptura simultânea nos dois locais.

Figura 4 - Blocos sobre duas estacas ensaiadas por Blévet e Frémy.



Fonte: THOMAZ (2015).

Na Figura 4, o primeiro bloco apresentou ruptura simultânea da biela de concreto na região próxima à estaca e na região próxima ao pilar, já o bloco da direita apresentou ruína por esmagamento na biela apenas na região próxima ao pilar.

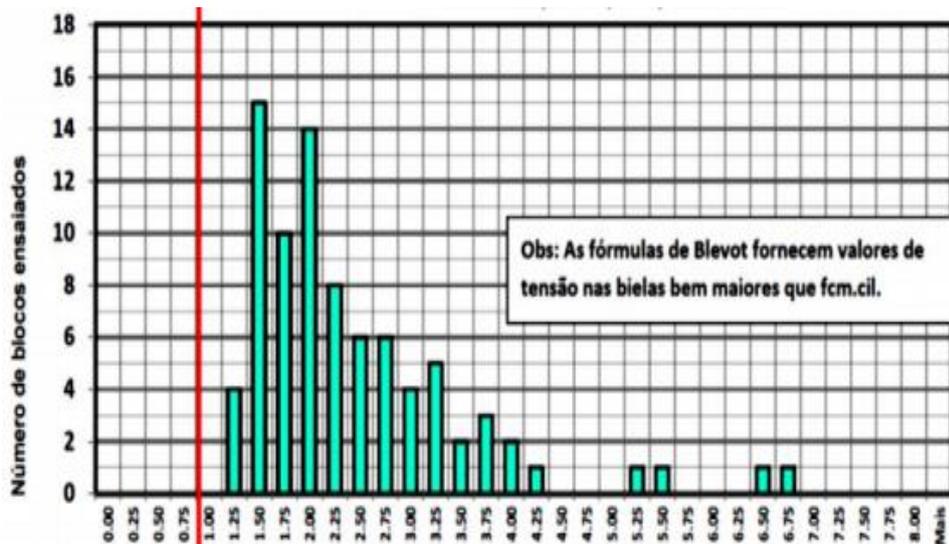
Para os pesquisadores BLÉVOT & FRÉMY (1967) analisaram que a tensão medida na biela ao sofrer a ruína, era superior à resistência do corpo de prova do concreto. Desta forma, a tensão nas armaduras mostrou-se inferior à tensão de ruptura, mas superior à tensão de escoamento do aço.

Figura 5 - Tensão calculada na armadura em 83 blocos quando as bielas de concreto romperam.



Fonte: THOMAZ (2015).

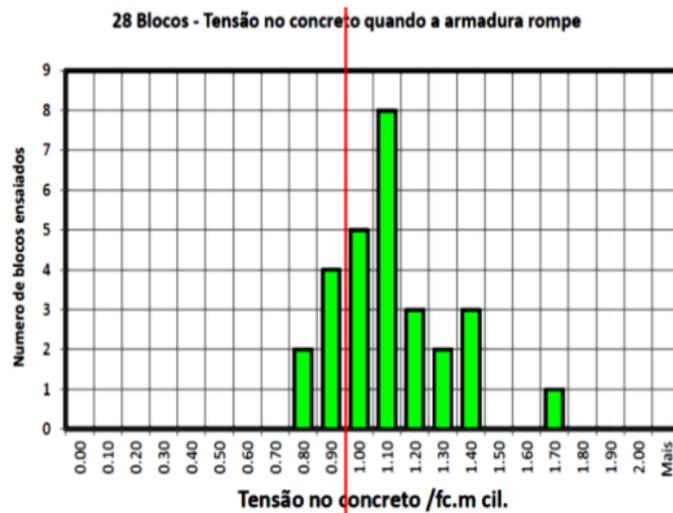
Figura 6- Tensão calculada o concreto em 83 blocos quando romperam quando as bielas de concreto romperam



Fonte: THOMAZ (2015).

A tensão da armadura quando é igualada à tensão de ruptura, ocasiona o colapso do bloco, onde a tensão atuante na biela de compressão foi, em média, 10% superior à resistência encontrada no corpo de prova.

Figura 7 - Tensão no concreto quando a armadura rompe.

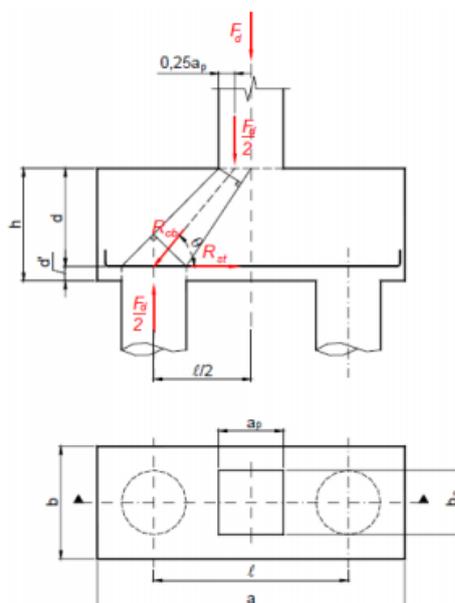


Fonte: THOMAZ (2015)

Os resultados obtidos experimentalmente levaram BLÉVOT & FRÉMY (1967) a concluírem que o bloco de coroamento sobre duas estacas trabalha com segurança através de bielas de compressão quando inclinadas entre 45° e 55° , para ser verificada o coeficiente de segurança da biela, deve-se calcular a tensão de compressão nas seções junto ao pilar e junto à estaca, e compará-las às tensões limites determinadas experimentalmente por BLÉVOT & FRÉMY (1967).

Os tirantes representam as tensões resultantes de tração atuantes no plano médio das armaduras, localizada logo acima do plano de arrasamento das estacas. A partir do cálculo da força de tração no tirante é possível calcular a área de armadura necessária. Para o projeto de blocos sobre duas estacas, as forças atuantes. A resultante de tração está representada pela força (R_{st}) e a resultante de compressão no concreto está representada pela força (R_{cb}).

Figura 8 - O ângulo de inclinação θ entre a biela e o tirante



Fonte: MUNHOZ (2004).

Os ângulos de inclinação mostrados na Figura 8 pode ser obtido geometricamente através da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

$$\theta = \arctg \left(\frac{d}{\frac{l}{2} - \frac{a_p}{4}} \right)$$

Equação 01

Para garantir o comportamento adequado do bloco, BLÉVOT & FRÉMY (1967) indicam que θ deve estar contido entre os limites:

$$45^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$$

Equação 02

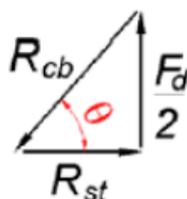
Substituindo os valores de θ limite na Equação 2 obtêm-se o intervalo da altura útil do bloco d no qual a inclinação das bielas é aceitável:

$$0,50 \left(\ell - \frac{a_p}{2} \right) \leq d \leq 0,70 \left(\ell - \frac{a_p}{2} \right)$$

Equação 03

Pelo equilíbrio de forças no bloco é possível concluir que o somatório vetorial das forças de tração e compressão deve ser igual a metade da carga de projeto atuante no pilar, conforme representado pela Figura 9 abaixo.

Figura 9 - Polígono de forças



Fonte: Munhoz (2014)

Partir do polígono acima tem-se então uma nova relação para tensão:

$$\theta = \arctg \left(\frac{\frac{F_d}{2}}{R_{st}} \right)$$

Equação 04

Igualando as Equações 1 e 4, determina-se a força de tração no tirante:

$$R_{st} = \frac{F_d \cdot (2\ell - a_p)}{8d}$$

Equação 05

Os resultados experimentais de BLÉVOT & FRÉMY (1967) mostraram que o valor de R_{st} calculado pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.** não era a favor da segurança e por isso recomenda-se que este valor seja majorado em 15%. A área de armadura é então calculada considerando o escoamento do aço no estado limite último, através da expressão:

$$A_s = \frac{1,15 \cdot R_{st}}{f_{yd}}$$

Equação 06

Sendo:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{f_{yk}}{1,15}$$

Equação 07

Novamente pelo polígono de forças destacado na Figura 9, tem-se:

$$\text{sen}\theta = \frac{\frac{F_d}{2}}{R_{cb}}$$

Equação 08

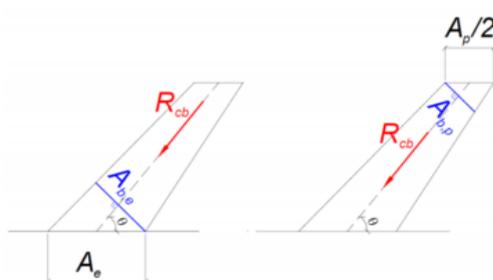
Logo, a resultante de compressão nas bielas de concreto é igual a:

$$R_{cb} = \frac{F_d}{2\text{sen}\theta}$$

Equação 09

Como as bielas apresentam seções variáveis ao longo da altura do bloco, faz-se necessário verificar a tensão máxima junto ao pilar e junto à estaca, comparando-as às tensões limites.

Figura 10 - Geometria das bielas.



Fonte: Munhoz (2014)

A tensão normal atuante na biela ($\sigma_{cb,p}$) é igual a força de compressão (R_{cb}) dividida pela área da seção transversal na biela junto ao pilar (A_{bp}) que está representado abaixo na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

$$\sigma_{cb,p} = \frac{R_{cb}}{A_{bp}}$$

Equação 10

A área da biela na base do pilar é calculada através da sua relação com a área da seção do pilar A_p e com o ângulo θ :

$$A_{bp} = \frac{A_p \text{sen}\theta}{2}$$

Equação 11

Substituindo então as Equações 9 e 11 na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, tem-se:

$$\sigma_{cb,p} = \frac{F_d}{A_p \text{sen}^2 \theta} \quad \text{Equação 12}$$

A tensão calculada no nó está destacada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo

$$\sigma_{cb,e} = \frac{R_{cb}}{A_{be}} \quad \text{Equação 13}$$

A área da biela no nó da estaca é calculada através da sua relação com a área da seção da estaca A_e :

$$A_{be} = A_e \text{sen} \theta \quad \text{Equação 14}$$

Substituindo então as Equações 9 e 14 na Equação 13, tem-se:

$$\sigma_{cb,e} = \frac{F_d}{2A_e \text{sen}^2 \theta} \quad \text{Equação 15}$$

As tensões de compressão nas bielas calculadas pelas Equações 12 e 15 devem ser comparadas às tensões limites apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

$$\sigma_{cb,e} \leq 1,0f_{cd}$$

Equação 16

$$\sigma_{cb,p} \leq 1,4f_{cd}$$

Equação 17

Estes valores correspondem aos valores sugeridos por BLÉVOT & FRÉMY (1967) para que o bloco trabalhe com segurança em serviço, considerando um coeficiente de variação em torno de 10%. Nesta situação, BLÉVOT & FRÉMY (1967) limitam a 0,6 da resistência à compressão média do concreto (f_{cm}).

$$\sigma_{cb} = 0,6f_{cm}$$

Equação 18

Partindo da condição:

$$f_{cm} \approx 1,2f_{ck}$$

Equação 19

Para o bloco em serviço, utiliza-se a equação abaixo

$$\sigma_{ck} < 0,6 \times 1,2f_{ck} = 0,72f_{ck}$$

Equação 20

A tensão de compressão de cálculo é:

$$\sigma_{cd} = 1,4\sigma_{ck}$$

Equação 21

Logo,

$$\sigma_{cd} < 1,4 \times 0,72f_{ck} \cong 1,01f_{ck} \quad \text{Equação 22}$$

$$\sigma_{cd} < 1,01(1,4f_{cd}) \cong 1,4f_{cd} \quad \text{Equação 23}$$

Dessa forma, obtêm-se a mesma equação mostrada para o nó do pilar. Para os elementos de fundação (no caso estacas) considera-se a carga com valores característicos e por isso tem-se:

$$\sigma_{ck} < 0,72f_{ck} \cong f_{cd} \quad \text{Equação 24}$$

3.3 Método de bielas e tirantes

O comportamento de uma estrutura em concreto armado pode ser definido por um conjunto de barras ligadas por nós e submetidas apenas aos esforços normais, como por exemplo, uma treliça composta por tirantes tracionados e bielas comprimidas. Os tirantes representam as armaduras ou, em casos particulares, os resultados das trações absorvidas pela resistência à tração do concreto, enquanto as tensões resultantes de compressão no concreto são representadas pelas bielas. As bielas são inclinadas e ligam o eixo das estacas ao nó de encontro do pilar com o bloco.

Os nós são as regiões onde as barras se encontram e aonde são transferidas as cargas. A ABNT NBR 6118:2014 recomenda a verificação dos tirantes, bielas e dos nós a partir dos resultados encontrados pela resolução das equações de equilíbrio estático. Tal representação é denominada Modelo de Escoras e Tirantes (M.E.T) ou Método das Bielas.

O Método das Bielas aceita como um modelo resistente uma “treliça espacial” para os blocos sobre várias estacas, ou plana, para blocos sobre duas estacas. O concreto é responsável por resistir às forças atuantes nas barras comprimidas da treliça. A principal incógnita deste método é determinar as dimensões e a inclinação das bielas comprimidas, conforme as propostas de Blévoit e Frémy (1967).

O Método das Bielas é utilizado e recomendável quando o carregamento é praticamente centrado, como acontece nos edifícios. Também pode ser empregado para um carregamento não centrado, admitindo-se que todas as estacas estão com a maior carga, tornando assim, um dimensionamento antieconômico. E quando todas as estacas possuem o mesmo espaçamento do centro do pilar.

O Método das Bielas é o método mais simples empregado, devido ao amplo suporte experimental, devido ao modelo de treliça ser intuitivo e, também, por ter uma ampla tradição na Europa e no Brasil.

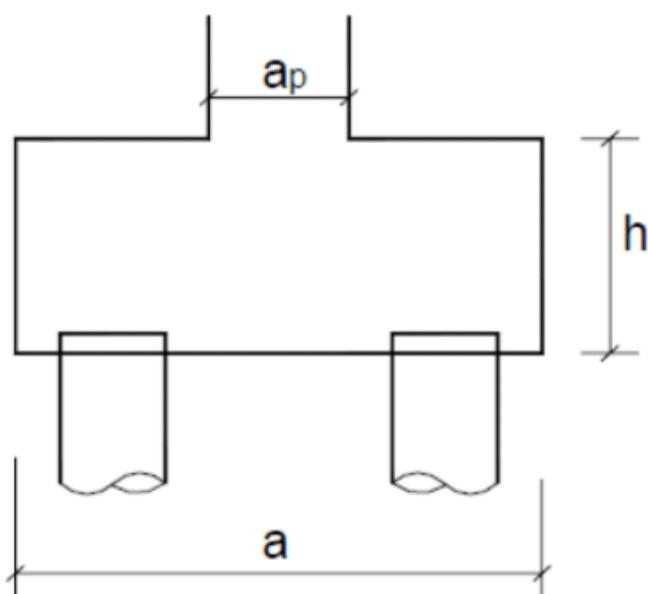
3.4 Recomendações Normativas

A ABNT NBR 6118:2014 admite que o bloco de coroamento pode ser classificado como flexível ou rígido. O critério usado para a classificação é semelhante ao definido para sapatas, onde as sapatas (ou blocos) rígidos são classificadas de acordo com o seguinte critério:

$$h \geq \frac{(a - a_p)}{3} \quad \text{Equação 25}$$

- A altura do elemento é representada por h .
- a_p é a dimensão do pilar na mesma direção
- a é a dimensão da sapata (ou bloco) em uma determinada direção.

Figura 11 – Representação das incógnitas



Autor: ABNT NBR 6118:2014

O comportamento das estruturas dos blocos rígidos, segundo a ABNT NBR 6118:2014, são caracterizados por: forças transmitidas do pilar para as estacas essencialmente por bielas de compressão; trabalho à flexão nas duas direções; trabalho ao cisalhamento em duas direções, apresentando ruína por compressão das bielas. É necessário um estudo mais completo sobre os blocos flexíveis, verificando a punção.

Para o cálculo e dimensionamento, a norma aceita os modelos de biela-tirante tridimensional e os modelos tridimensionais sendo lineares ou não, mas não demonstra nenhuma verificação ao cisalhamento dos blocos, nem orientações para roteiro de cálculo.

A ABNT NBR 6118:2014 segue a lógica de classificação das regiões nodais da norma americana ACI 318 (2002), que classifica os tipos de nós de acordo com o sinal das forças que chegam sendo de compressão ou tração. São, portanto, divididos em nós:

- CCC: Resiste a três forças compressivas;
- CCT: Resiste a duas forças compressivas e a uma força de tração;
- CTT: Resiste a uma força compressiva e a duas forças de tração;
- TTT: Resiste a três ou mais forças de tração.

Para a análise de bloco sobre duas estacas, os dois primeiros tipos de nós são considerados.

Para a verificação de tensões de compressão máximas encontradas nas bielas e regiões nodais, foram definidos os seguintes parâmetros no item 22.3.2 da NBR6118:2014:

Figura 12 - Equações dos Nós

$$f_{cd1} = 0,85\alpha_{v2}f_{cd} \text{ (bielas prismáticas ou nós CCC)}$$

$$f_{cd2} = 0,60\alpha_{v2}f_{cd} \text{ (bielas atravessadas por mais de um tirante, ou nós CTT ou TTT)}$$

$$f_{cd3} = 0,72\alpha_{v2}f_{cd} \text{ (bielas atravessadas por um tirante, ou nós CCT)}$$

sendo α_{v2} igual a:

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

Fonte: (MEDEIROS, 2016).

A resistência do nó sob o pilar foi adotada, a favor da segurança, sendo definido como nó CCC, que independe da quantidade de estacas. Enquanto os nós sobre as estacas foram considerados como CCT.

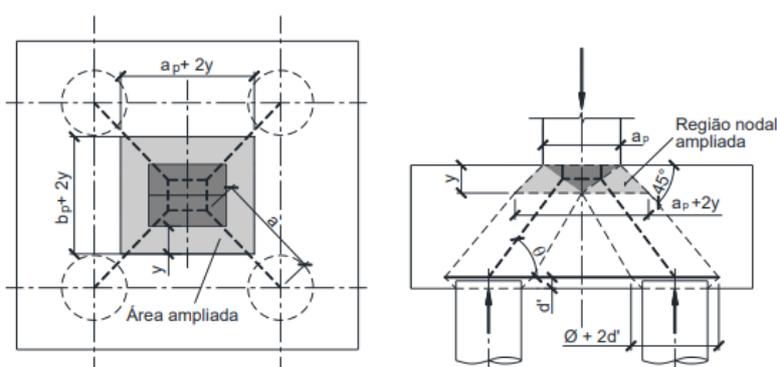
3.5 Método de Santos

SANTOS (2015) propôs uma adaptação do modelo de bielas proposto por BLÉVOT & FRÉMY (1967). No entanto, da mesma forma que FUSCO (2013), SANTOS (2015) considera uma ampliação da área do pilar e da estaca, adotada por ele com abertura de 45°. As tensões calculadas a partir dessa nova área são comparadas às tensões limites sugeridos pela ABNT NBR 6118:2014. As expressões propostas são, portanto:

$$\sigma_{cd,est}^{bie} = \frac{F_{d,est}}{A_{amp,est} \cdot \text{sen}^2(\theta)} \leq f_{cd3} \quad \text{Equação 26}$$

$$\sigma_{cd,pilar}^{bie} = \frac{F_{d,pilar}}{A_{amp,pilar} \cdot \text{sen}^2(\theta)} \leq f_{cd1} \quad \text{Equação 27}$$

Figura 13 - Modelo proposto por Santos



Fonte: SANTOS (2013).

O modelo proposto por SANTOS (2015) difere em relação ao Método das Bielas em se tratando do ângulo de inclinação da biela comprimida. Enquanto que BLÉVOT & FRÉMY (1967) definem a tangente do ângulo pela razão d/a , em que a é a projeção horizontal da biela, SANTOS (2015) define a tangente como z/a , sendo z igual a:

$$z = d - 0,5y \quad \text{Equação 28}$$

O valor de y é a profundidade do nó comprimido. Ele é determinado por processo iterativo, de maneira que a tensão de compressão no nó sob o pilar se aproxime do limite da norma, desde que o ângulo de inclinação da biela seja maior que 40° . O processo de cálculo de SANTOS (2015) tende a ser mais conservador

que o Método das Bielas para bloco com mais de duas estacas. No entanto, para o caso de duas estacas, o método de BLÉVOT & FRÉMY (1967) está mais a favor da segurança, pois como já foi visto, o mesmo aumenta em 15% a força de tração nos tirantes.

4 METODOLOGIA

A partir dos dois métodos discutidos anteriormente por BLÉVOT e FRÉMY (1967) e SANTOS (2013), foram analisados blocos de coroamento sobre duas estacas, cujo altura de 80 cm foi constante para que se pudesse observar a influência da carga sobre a área de aço. Foram feitos os cálculos para três cargas diferentes, de valores: 2500KN, 2750KN e 3000KN. Com um concreto C30 ($F_{ck} = 30$ Mpa) e aço CA-50 ($F_{yk} = 500$ Mpa).

Será calculado inicialmente a resistência dos nós, após, se encontra a inclinação da biela, a tensão no nó do pilar e no nó da estaca, serão calculados e verificados, com o objetivo de encontrar e determinar a área de aço necessária para a resistência e equilíbrio estático do bloco.

Após encontrar os resultados obtidos dos cálculos de ambos os métodos utilizados no presente trabalho, será feita uma comparação em relação a área de aço, a fim de, demonstrar as diferenças de um método para o outro.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir, tem-se nas tabelas de 1 a 5 o resumo dos resultados obtidos, com a área de aço calculada, tensões máximas nas bielas e tensões limites para cada nó na biela.

Tabela 1– Resultados constantes do método de Santos.

| SANTOS | | |
|---------------------------|--------|-----|
| ALTURA (cm ²) | Z (cm) | Θ |
| 80 | 65,5 | 54° |
| 80 | 65,5 | 54° |
| 80 | 65,5 | 54 |

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 2– Resultados com as três cargas utilizadas, no método de Santos.

| SANTOS | CARGA PILAR (KN) | NÓS CCC - (KN/cm ²) | PILAR | PASSA? | CARGA NA ESTACA (KN) | NÓS CCT - (KN/cm ²) | ESTACA | PASSA? | As (cm ²) |
|--------|------------------|---------------------------------|-------|--------|----------------------|---------------------------------|--------|--------|-----------------------|
| | | Fcd1 | σ | | | Fcd3 | σ | | |
| | 2500 | 1,6 | 1,33 | SIM | 1250 | 1,35 | 0,78 | SIM | 20,83 |
| | 2750 | 1,6 | 1,46 | SIM | 1375 | 1,35 | 0,85 | SIM | 22,92 |
| | 3000 | 1,6 | 1,6 | SIM | 1500 | 1,35 | 0,93 | SIM | 25 |

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 3– Resultados constantes do método de Bléivot e Frémy.

| BLÉVOT | | |
|---------------------------|--------|-------|
| ALTURA (cm ²) | d (cm) | θ |
| 80 | 73 | 56,9 |
| 80 | 73 | 56,9° |
| 80 | 73 | 56,9° |

Fonte: elaborada pelo autor

BLÉVOT e FRÉMY (1967), estabelecem o ângulo de inclinação da biela de concreto a partir da tangente do mesmo ângulo, definida a razão d/a , sendo $d = h - d'$.

Tabela 4 – Resultados com as três cargas utilizadas, no método de Bléivot e Frémy.

| BLÉVOT | CARGA PILAR (KN) | NÓS CCC - (KN/cm ²) | PILAR | PASSA? | CARGA NA ESTACA (KN) | NÓS CCT - (KN/cm ²) | ESTACA | PASSA? | As (cm ²) |
|--------|------------------|---------------------------------|-------|--------|----------------------|---------------------------------|--------|--------|-----------------------|
| | | α x Fcd | σ | | | α x Fcd | σ | | |
| | 2500 | 3 | 1,78 | SIM | 1250 | 3 | 1,29 | SIM | 21,56 |
| | 2750 | 3 | 1,96 | SIM | 1375 | 3 | 1,41 | SIM | 23,71 |
| | 3000 | 3 | 2,14 | SIM | 1500 | 3 | 1,54 | SIM | 25,87 |

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 5– Diferença da quantidade de aço comparando o método de Santos com Bléivot e Frémy

| CARGA (KN) | DIFERENÇA DE As |
|------------|-----------------|
| 2500 | 3,50% |
| 2750 | 3,45% |
| 3500 | 3,48% |

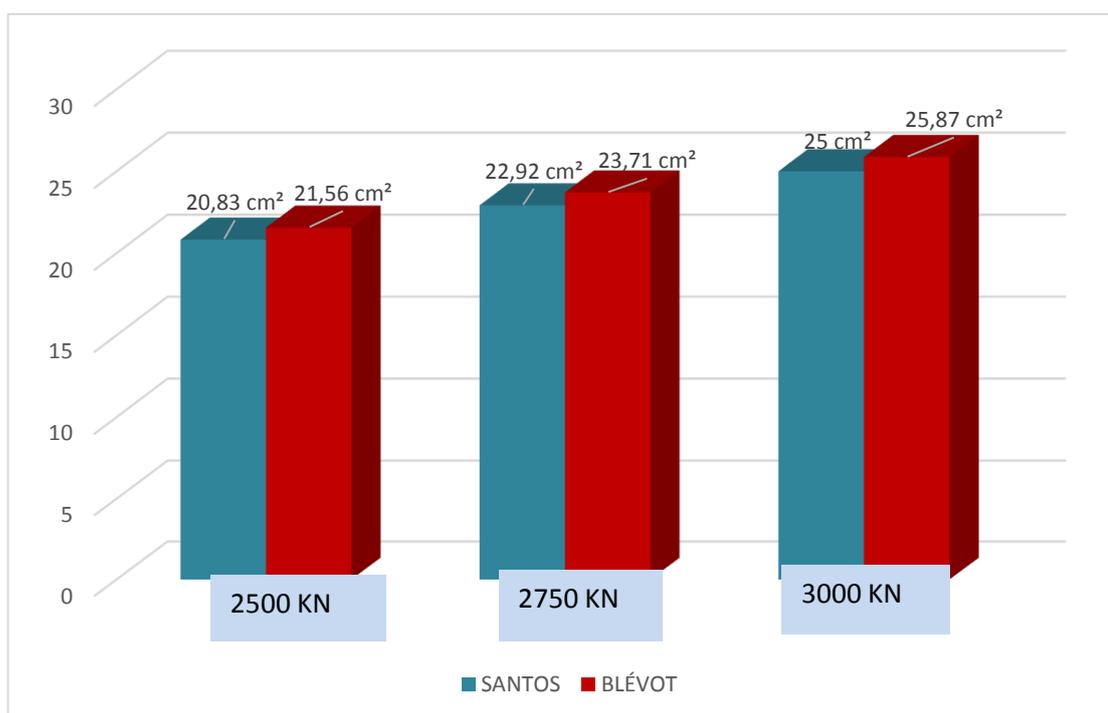
Fonte: elaborada pelo autor

Observa-se que a área de aço calculada dos dois métodos, apresentou variação muito próxima entre eles. Isso acontece devido a área ampliada adotada por Santos, que determina diferentes alturas para o cálculo, interferindo também na angulação das bielas.

Com os valores da área de aço determinados é possível determinar o ângulo de inclinação da biela, através do modelo de bielas sugerido por BLÉVOT e FRÉMY (1967). Isto é feito considerando o equilíbrio de forças no topo da estaca.

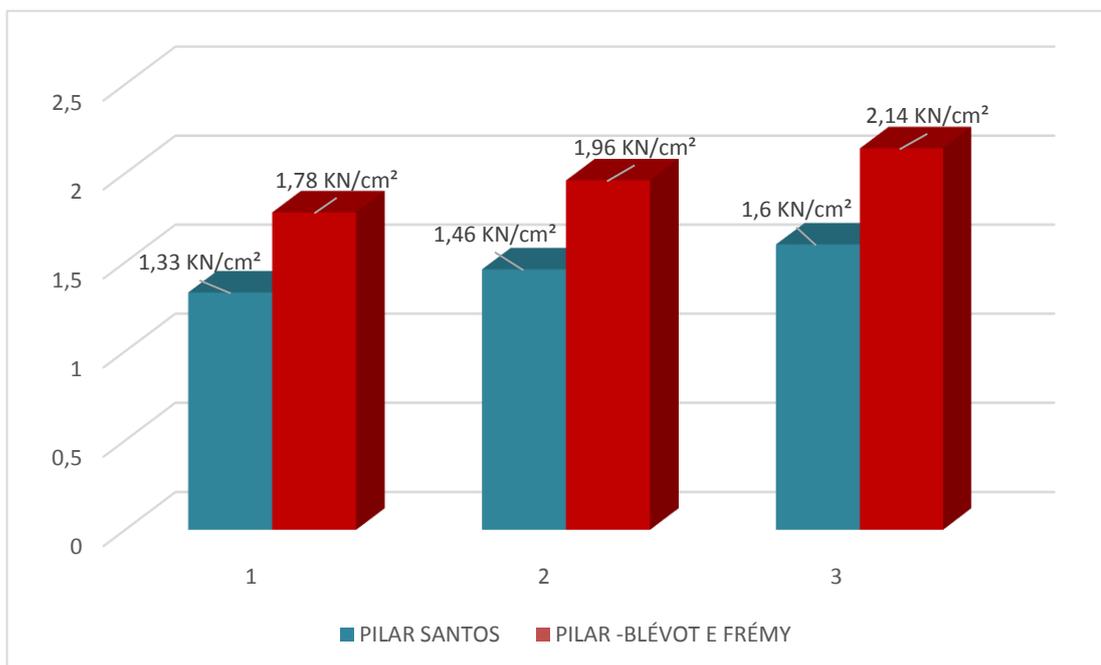
Foi analisado também se o ângulo de inclinação da biela calculado seria geometricamente possível, considerando os limites geométricos representados no caso, onde $\theta \geq 45^\circ$ para blocos rígidos.

Figura 14 – Comparativo Da Área de Aço de Santos e Blébot e Frémy



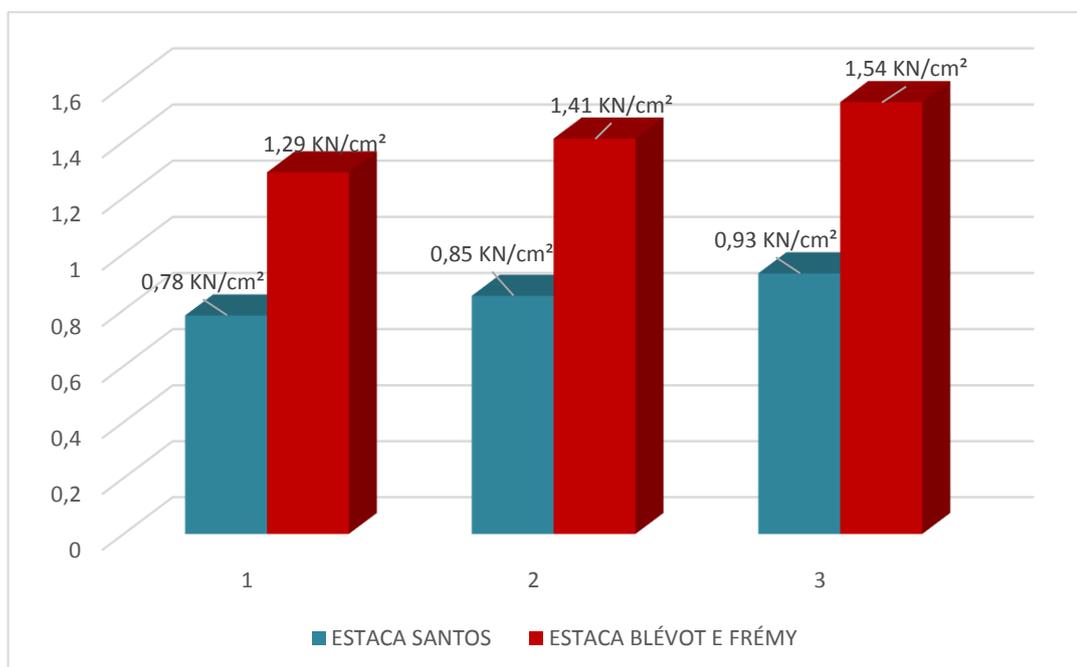
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 15 – Tensão Na Biela Junto ao Pilar



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 16 – Tensão Na Biela Junto à Estaca



Fonte: elaborado pelo autor

A maioria dos métodos já utilizam os limites de tensão acrescentados na última revisão da ABNT 6118:2014, com exceção dos métodos baseados nos limites de BLÉVOT e FRÉMY (1967). Observa-se que eles adotam o maior valor para tensão limite no pilar e na estaca.

Conclui-se que, para as condições de carregamento do bloco, as tensões na biela sobre as estacas foram verificadas, considerando todos os métodos calculados abordados.

6 CONCLUSÃO

Os blocos são estruturas de concreto armado usados principalmente para a transferência das ações provenientes da superestrutura. São comumente encontrados em infra-estruturas de obras como pontes e edifícios e o conhecimento do seu comportamento real é de importância fundamental, pois sua inspeção visual, após a construção, é de grande dificuldade.

O principal objetivo deste trabalho foi mostrar as divergências existentes nos processos de dimensionamento para blocos sobre estacas existentes. As análises realizadas apontam as diferenças nos valores de área de aço e tensões de compressão. O método proposto por BLÉVOT e FRÉMY (1967) se mostrou mais conservador que SANTOS (2013).

Ao comparar os resultados analíticos, observou-se de uma maneira geral que os modelos de cálculo distanciam o bloco da sua ruína, através de áreas de aço elevadas e de baixos limites de tensão de compressão na biela.

Devido ao confinamento existente nos blocos de coroamento na região abaixo do pilar, o concreto encontra-se em estado triaxial de tensões, fazendo com que este tenha um acréscimo de resistência. Sabendo disso, é razoável concluir que as inclinações das bielas podem ser menores. Logo, o método de SANTOS (2013) tem um maior aproveitamento do material e apresenta resultados mais satisfatórios em relação ao método de BLÉVOT e FRÉMY (1967).

7 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Com a finalidade de prosseguir as pesquisas, envolvendo os métodos de dimensionamento para blocos sobre estacas, apresentam-se os seguintes assuntos:

1. Estudo paramétrico de confiabilidade em blocos de coroamento;
2. Análise comparativa dos métodos de dimensionamento, para blocos submetidos a força normal e momento fletor aplicado;
3. Análise teórica e numérica do comportamento de blocos sobre estacas, a partir de modelos de biela e tirante;
4. Análise experimental do comportamento das bielas comprimidas de blocos sobre estacas.

8 BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto - procedimento**. Rio de Janeiro, 2014;

BLÉVOT, J.; FRÉMY, R. Semelles sur pieux. **Annales d'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics**. Paris, v. 20, n. 230, p. 223-295, 1967;

CARNEIRO, Luiz; THOMAZ, Eduardo. **Considerações sobre o Dimensionamento de Blocos sobre Estacas com o Uso do Método das Bielas e Tirantes**. Disponível em: <<http://www.abpe.org.br/trabalhos2016/86.pdf>>. Acesso em: 25 de outubro de 2018.

CARVALHO, Roberto Chust. **Cálculos e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: volume 2 / Roberto Chust Carvalho, Libânio Miranda Pinheiro**. 2ª edição. São Paulo: Pini, 2013.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Técnicas de armar estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2013.

IBRACON. **ABNT NBR 6118:2014 Comentários e Exemplos de Aplicação**. Ed. IBRACON, 2015.

MEDEIROS, Mariana. **Análise comparativa de métodos de dimensionamento para blocos sobre estacas**. Disponível em: <<http://monografias.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/3164/1/analise-bloco-estacas-Medeiros-Monografia.pdf>> Acesso em 27 de outubro de 2018.

SAKAI, Erika. **Análise de blocos de concreto armado sobre estacas**. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/1340/1/ErikaSakai.pdf>>. Acesso em: 30 de outubro de 2018.

SANTOS, D. M. et al. **Dimensionamento de blocos de fundações sobre 2 e 4 estacas: Exemplo de aplicação dos conceitos da seção 22**. In: BUENO, S.; KIMURA, A. ABNT NBR 6118:2014 Comentários e Exemplos de Aplicação. São Paulo: Ibracon, 2015;

SANTOS, D.; GIONGO, J. S. **Análise de vigas de concreto armado utilizando modelos de bielas e tirantes**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 10, n. 46, p.61-96, 2008;