



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ADSON SILVA DE SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS PARA DIMENSIONAMENTO E
DETALHAMENTO DE FUNDAÇÃO SOBRE BLOCO DE ESTACAS**

MOSSORÓ/RN

2018

ADSON SILVA DE SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS PARA DIMENSIONAMENTO E
DETALHAMENTO DE FUNDAÇÃO SOBRE BLOCO DE ESTACAS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: John Eloi Bezerra, Prof. Dr.

MOSSORÓ/RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S725d Sousa, Adson Silva de.
Desenvolvimento de rotinas para
dimensionamento e detalhamento de fundação sobre
bloco de estacas / Adson Silva de Sousa. - 2018.
52 f. : il.

Orientador: John Eloi Bezerra.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. Estrutura. 2. Planilha eletrônica. 3.
Automatização. I. Bezerra, John Eloi, orient. II.
Título.

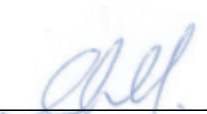
ADSON SILVA DE SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS PARA DIMENSIONAMENTO E
DETALHAMENTO DE FUNDAÇÃO SOBRE BLOCO DE ESTACAS**

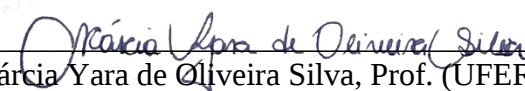
Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 17 / 03 / 2 018.

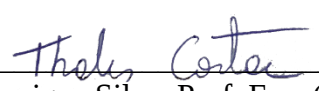
BANCA EXAMINADORA



John Eloi Bezerra, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Márcia Yara de Oliveira Silva, Prof. (UFERSA)
Membro Examinador



Thales Henrique Silva, Prof. Esp. (UFERSA)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, João Batista Felix de Sousa e Maria da Conceição da Silva que sempre apoiaram e incentivaram meus estudos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por toda a proteção e bênçãos dadas a minha família, e por sempre ter promovido grandes oportunidades em minha vida.

A toda a minha família, principalmente aos meus pais João Batista Felix de Sousa e Maria da Conceição da Silva, por todo o apoio, amor, suporte e conselhos valiosos que deram ao longo da minha vida.

A Jessica Jessiana Ferreira Alves, por todos os conselhos e sugestões dados a este trabalho.

Ao meu orientador, John Eloi Bezerra, por ter me aceitado como orientando, e por ter feito contribuições essenciais para a elaboração deste trabalho.

Aos professores Márcia Yara de Oliveira Silva e Thales Henrique Silva Costa por fazerem parte da banca examinadora deste trabalho.

Aos colegas do curso, aos quais agradeço por todas as horas em que passamos estudando e se ajudando ao longo dos períodos.

E a todos os professores do curso que se dedicam e fazem o seu melhor para os alunos.

RESUMO

Atualmente a utilização de ferramentas computacionais se encontra cada vez mais difundida nas profissões que envolvem manipulações de uma grande quantidade de cálculos, esta realidade também se aplica à profissão do engenheiro civil. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo, dimensionar o bloco sobre estacas (de uma a seis estacas) de modo a se obter valores mínimos de volume de concreto e de aço através de ferramentas computacionais, e com isso, auxiliar o engenheiro na elaboração de projetos estruturais deste tipo de elemento. Assim, após se fazer as parametrizações das geometrias dos blocos, foram feitas implementações numéricas à uma planilha eletrônica, que após ser concluída, foi avaliada a partir de aplicações práticas de exercícios consultados nas bibliografias. Por fim, se comprovou a redução efetiva de volume de concreto e de aço dos blocos de estacas dimensionados através da planilha eletrônica desenvolvida.

Palavras-chave: Estrutura; Planilha eletrônica; Automação.

ABSTRACT

Currently, the use of computational tools is increasingly widespread in professions that involves manipulation of a large amount of calculations, this reality also applies to the civil engineer profession. Therefore, this work has as objective, to dimension the pile cap(from one to six piles) so as to have lower values of concrete and steel volume through computational tools, and with that, to assist the engineer in the elaboration of structural projects of this type of element. thus, after making the parameterizations of the blocks geometries, numerical implementations were done in an electronic worksheet, which, after its conclusion, was evaluated from practical exercises applications consulted in the bibliographies. Finally, it was verified the effective reduction of concrete and steel volume of the pile cap by the dimensioning through the electronic worksheet developed.

Keywords: Structure; Eletronic worksheet; Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da tensão nas bielas de compressão.	25
Figura 2 – Fluxograma da rotina principal.....	37
Figura 3 - Detalhamento do bloco de duas estacas da aplicação prática.....	39
Figura 4 - Detalhamento do bloco de três estacas da aplicação prática.	42
Figura 5 - Detalhamento do bloco de quatro estacas da aplicação prática.	43
Figura 6 – Detalhamento do bloco sobre uma estaca.	47
Figura 7 – Detalhamento do bloco sobre duas estacas.	48
Figura 8 – Detalhamento do bloco sobre três estacas.	49
Figura 9 – Detalhamento do bloco sobre quatro estacas.	50
Figura 10 – Detalhamento do bloco sobre cinco estacas.....	51
Figura 11 – Detalhamento do bloco sobre seis estacas.	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Índice de eficiência dos arranjos.....	18
Quadro 2 - Classes ambientais.	19
Quadro 3 - Cobrimento nominal para elementos estruturais em contato com solo.....	20
Quadro 4 - Classificação do concreto estrutural a partir de sua resistência.	20
Quadro 5 - Valores de αE para cálculo do módulo de elasticidade inicial (E_{ci}).....	22
Quadro 6 - Diâmetros nominais das barras e fios de aço.	22
Quadro 7 - Propriedades mecânicas de barras e fios de aço.....	23
Quadro 8 - Tensões internas nas bielas de compressão.....	26
Quadro 9 - Equações para cálculo do ângulo alfa.	26
Quadro 10 - Limites mínimos e máximos para a altura útil.	28
Quadro 11 - Equações para cálculo de armaduras do bloco de estacas.....	30
Quadro 12 - Resumo das dimensões em planta do bloco sobre estaca.	31
Quadro 13 – Configuração de arranjos parametrizados.	35
Quadro 14 – Resolução comparativa do exemplo de duas estacas.	38
Quadro 15 - Resumo dos dados de entrada da aplicação prática.	40
Quadro 16 - Resolução comparativa do exemplo de três estacas.....	40
Quadro 17 - Resolução comparativa do exemplo de quatro estacas.	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$A_{s,calc}$	Área de aço calculado
$A_{s,ef}$	Área de aço efetivo
$A_{s,wh}$	Armadura de estribo horizontal
$A_{s,w}$	Armadura de estribo vertical
$A_{s,p}$	Armadura de pele
A_s	Armadura principal
$A_{s,sup}$	Armadura superior
ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
cm	Centímetro
l_b	Comprimento de ancoragem
$l_{b,min}$	Comprimento de ancoragem mínimo
$l_{b,nec}$	Comprimento de ancoragem necessário
m	Metro
E_{cs}	Módulo de elasticidade secante
E_{ci}	Módulos de elasticidade inicial
NBR	Norma Brasileira
Pa	Pascal
kg	Quilograma
f_{ck}	Resistência a compressão característica
f_{cd}	Resistência a compressão de cálculo
f_{bd}	Resistência de aderência
$f_{ctk,inf}$	Resistências a tração característica inferior
$f_{ctk,sup}$	Resistências a tração característica superior
f_{ctd}	Resistências a tração de cálculo
$f_{ct,m}$	Resistências a tração media

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Alfa
\$	Cifrão
η	Eta
ϕ	Fi
°	Graus
®	Marca registrada
%	Porcentagem
θ	Teta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Fundações	15
2.1.1 Estacas e estaqueamento	15
2.1.2 Bloco sobre estacas	15
2.2 Resistências e Solicitações	16
2.2.1 Tensão admissível	16
2.2.2 Tensão resistente de projeto	16
2.2.3 Esforços horizontais	16
2.2.4 Estaca mais solicitada	16
2.2.5 Eficiência de grupo de estacas	17
2.3 Concreto armado	18
2.3.1 Agressividade ambiental	19
2.3.2 Cobrimento	19
2.3.3 Resistência a compressão característica do concreto	20
2.3.4 Classes de resistência do concreto estrutural	20
2.3.5 Resistência à tração característica do concreto	21
2.3.6 Módulo de elasticidade do concreto	21
2.3.7 Armadura passiva	22
2.3.7.1 Comprimento de ancoragem	23
2.4 Método das bielas	24
2.4.1 Tensões limites	24
2.4.2 Altura útil	27
2.4.3 Armaduras	29
2.4.4 Dimensões em planta	31
3 METODOLOGIA	33
3.1 Escolha do <i>software</i>	33
3.1.1 Funções	33
3.1.2 Ferramenta <i>Solver</i>	33
3.1.3 Gravação de Macros	34
3.2 Parametrização dos arranjos	34
3.3 Implementação numérica	35

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 Aplicações práticas	38
4.1.1 Exemplo de bloco sobre duas estacas	38
4.1.2 Exemplo de bloco sobre três estacas	39
4.1.3 Exemplo de bloco sobre quatro estacas	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS	45
APÊNDICE A – DETALHAMENTO DOS BLOCOS	47

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014) as fundações são os elementos estruturais que transferem às estacas, ou aos tubulões, os esforços de fundação. As fundações são divididas entre rasas e profundas. As fundações profundas podem transferir esforços ao terreno pela sua ponta, por atrito gerado entre seu fuste e o solo, ou pelos dois modos combinados. Além disto, se localizam a uma profundidade mínima de 3 m de profundidade ou maior que duas vezes a sua menor dimensão. (ABNT NBR 6122,2010)

As estacas são um tipo de fundação profunda, a ABNT NBR 6122 (2010) define esta como um elemento que pode ser encontrado em madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado *in-loco*, ou pela combinação das anteriores. Este elemento é construído a partir do uso de equipamentos ou ferramentas sem que haja a necessidade de descida de operários para a sua execução. Por sua vez o elemento responsável pela ligação entre os pilares e as estacas é chamado de bloco de coroamento ou bloco sobre estacas. Este elemento é dimensionado para garantir a transferência de esforços vindos da superestrutura para as fundações de estacas.

Cada vez mais, as ferramentas computacionais estão presentes nas atividades desenvolvidas pelos engenheiros. A aplicação de tais ferramentas auxilia as atividades deste profissional, tornando-as mais dinâmicas e precisas. O uso de planilhas eletrônicas permite que se faça a automatização de etapas do projeto. A vantagem dessa automatização fica evidente quando se necessita de cálculos rápidos, precisos e que sejam capazes de serem refeitos várias vezes.

O presente trabalho se baseia em revisões bibliográficas e aplicações numéricas em uma planilha eletrônica que seja capaz de dimensionar e detalhar o bloco de estacas. Logo, se teve como objetivo geral, dimensionar e detalhar o bloco sobre estacas com auxílio de planilha eletrônica, sendo os objetivos específicos apresentados a seguir:

- Estabelecer critérios de cálculo;
- Escolher arranjos de blocos de estacas;
- Desenvolver rotinas de cálculo;
- Elaborar a planilha eletrônica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fundações

De acordo com a ABNT NBR 6122 (2010) as fundações são divididas em rasas e profundas. Sendo as rasas, aquelas em que sua profundidade é menor que duas vezes sua menor dimensão e a transmissão das cargas ocorrem pela base do elemento. Já as fundações profundas podem transmitir as cargas por atrito, pela base ou por combinações das duas, possuindo profundidade mínima de 3 m ou maior do que duas vezes a sua menor dimensão.

2.1.1 Estacas e estaqueamento

Segundo o descrito na ABNT NBR 6122 (2010) as estacas são elemento de fundação profunda inteiramente construídos sem que haja a descida de operário. Além disso, podem ser construídos em: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado *in situ* ou misto. De acordo com Alonso (2012) o estaqueamento é o conjunto de estacas solidárias ao bloco de coroamento.

2.1.2 Bloco sobre estacas

Os blocos sobre estacas, também conhecido como blocos de coroamento, são “estruturas de volume usadas para transmitir às estacas e aos tubulões as cargas de fundação, podendo ser considerados rígidos ou flexíveis por critério análogo ao definido para sapatas”. (ABNT NBR 6118, 2014, p.190). Portanto, para a ABNT NBR 6118 (2014) são considerados blocos rígidos aqueles que atendem à equação 01 nas duas direções. Caso contrário são considerados flexíveis:

$$h \geq (a - a_p)/3 \quad (01)$$

Onde:

h - é a altura do bloco;

a - é a dimensão do bloco em uma determinada direção;

a_p - é a dimensão do pilar nesta mesma direção.

2.2 Resistências e Solicitações

2.2.1 Tensão admissível

É o valor adotado em projeto com a utilização de coeficientes de segurança, para que se atendam os estados limites últimos (ruptura) e de serviço (recalque, formação de flechas etc.) (ABNT NBR 6122, 2010).

2.2.2 Tensão resistente de projeto

A ABNT NBR 6122 (2010) define a tensão resistente de projeto do ponto de vista geotécnico. Ou seja, é a divisão entre a tensão de ruptura geotécnica pelo coeficiente de minoração da resistência última.

2.2.3 Esforços horizontais

Para que os esforços horizontais atuantes nos blocos não sejam completamente desconsiderados, se fez uma aproximação simplificada onde se estima um braço de alavanca de um metro de altura, ou seja, estima-se que a altura de bloco é inicialmente igual a um metro. Desta forma, o momento final que será utilizado para o estudo da distribuição de esforços ao longo das estacas será a soma dos momentos provenientes dos pilares com os momentos gerados pelos esforços horizontais.

2.2.4 Estaca mais solicitada

Segundo Alonso (2001) a carga que atua em qualquer estaca do bloco pode ser determinada pelo método da superposição, que considera simultaneamente os efeitos devido ao esforço vertical e de momento. A superposição de ações pode ser calculada pela equação 02:

$$P_f = \frac{N_d}{n} - \frac{M_{dx} \cdot Y_i}{\Sigma Y_i^2} + \frac{M_{dy} \cdot X_i}{\Sigma X_i^2} \quad (02)$$

Onde:

P_f – Carregamento resultante da superposição;

N_d – Carga vertical do pilar;

n – Número de estacas do bloco;

M_{dx} – Momento na direção x (sentido positivo para a direita);

Y_i – Distância paralela ao eixo Y , entre o centro geométrico do bloco ao centro da estaca estudada;

ΣY_i^2 – Somatório dos quadrados de todas as distâncias Y_i entre o centro do bloco e o centro das estacas;

M_{dy} – Momento na direção y (sentido positivo para cima);

X_i – Análogo à Y_i ;

ΣX_i^2 – Análogo à ΣY_i^2 .

2.2.5 Eficiência de grupo de estacas

Segundo a ABNT NBR 6122 (2010) o efeito de grupo é o processo de interação dos esforços transmitidos pelas estacas de um mesmo bloco. Para Tuan (2016) ao se utilizar estacas em grupo, as ações atuantes sobre o bloco passam a ser transmitidas para o solo de forma indireta e não linear. Além disto, estacas pertencentes a um grupo possuem deflexões mais acentuadas do que estacas isoladas submetidas ao mesmo carregamento. Desta forma é necessário que se leve em consideração a influência do efeito de grupo na capacidade de carga das estacas. Apesar da fórmula de Labarre (equação 03) não ser a única capaz de calcular o efeito de grupo, é uma das formulas mais práticas que podem ser utilizadas.

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n_1 - 1)n_2 + (n_2 - 1)n_1}{90n_1n_2} \right] \theta \quad (03)$$

Onde:

η – É o valor da eficiência da estaca;

n_1 – É o número de estacas por colunas do arranjo;

n_2 – É o número de estacas por linha do arranjo;

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\phi_e}{e} \right)$$

Onde:

ϕ_e – É o diâmetro da estaca;

e – É o espaçamento entre estacas, que pode ser adotado igual a $2,5\phi$.

Contudo, a fórmula de Labarre serve apenas para calcular a eficiência de grupo de blocos retangulares, com estacas dispostas em linhas e colunas. Entretanto, neste trabalho se optou por utilizar blocos triangulares e hexagonais para blocos de três e seis estacas respectivamente. Portanto, com o intuito de promover uma maior segurança foi adotado que para os blocos de três e quatro estacas o índice de eficiência será equivalente ao de um bloco 2x2 (quatro estacas). Já para os blocos de cinco e seis estacas foi adotado o índice de eficiência equivalente ao de um bloco 2x3 (seis estacas).

Adotando a distância entre eixos das estacas equivalente à $2,5\phi$ (distância usualmente adotado na prática), o valor do índice de eficiência pode ser calculado para cada arranjo como mostrados no quadro 01.

Quadro 1 - Índice de eficiência dos arranjos.

Arranjo de estacas	η
Uma estaca	1
Duas estacas	0,879
Três estacas	0,758
Quatro estacas	0,758
Cinco estacas	0,717
Seis estacas	0,717

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A partir da equação 02 é possível se calcular qual é a estaca mais solicitada para cada bloco. Com o quadro 1 e informações sobre o diâmetro da estaca e de sua tensão admissível, pode-se calcular quais os blocos que atendem às solicitações. Portanto, para se evite sobrecargas na estrutura, a planilha eletrônica deve ser configurada para apresentar ao usuário apenas os arranjos de estacas que possuam a tensão admissível capaz de atender à estaca mais solicitada do bloco, considerando-se os efeitos de grupo.

2.3 Concreto armado

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) o concreto armado é qualquer elemento de concreto em que o seu desempenho estrutural depende da aderência entre o concreto e a armadura, sem

que esta seja pretendida. Além de, quando não informado, poder se adotar a massa específica de 2500 kg/m³.

2.3.1 Agressividade ambiental

A ABNT NBR 6118 (2014) define agressividade ambiental como sendo as ações físicas e químicas causadas no concreto devido a sua exposição ao meio ambiente. A agressividade ambiental possui quatro classes, sendo elas: Fraca, Moderada, Forte e Muito forte como apresentadas no quadro 2.

Quadro 2 - Classes ambientais.

Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Agressividade	Classe de agressividade ambiental	Risco de deterioração da estrutura
Rural	Fraca	I	insignificante
Submersa	Fraca	I	insignificante
Urbana	Moderada	II	Pequeno
Marinha	Forte	III	Grande
Industrial (regiões de clima seco)	Forte	III	Grande
Industrial (regiões quimicamente agressivas)	Muito forte	IV	Elevado
Respingos de maré	Muito forte	IV	Elevado

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

2.3.2 Cobrimento

Ao ser expor as armaduras ao meio ambiente se inicia o processo de degradação do concreto. Portanto, de acordo com Bolina e Tutikian (2016), para que se tenha proteção física e química das armaduras e durabilidade do concreto armado deve-se garantir uma camada de concreto além da face externa da armadura chamada de cobrimento nominal (c_{nom}). O cobrimento nominal possui valores mínimos normatizados pela ABNT NBR 6118 (2014) que são mostrados a seguir no quadro 3. Estes valores dependem da classe de agressividade ambiental e do tipo de elemento estrutural. Além disto, o cobrimento nominal não deve ser menor que 120% da dimensão máxima característica do agregado graúdo do concreto, como se segue na equação 04.

$$d_{m\acute{a}x} \leq 1,2 c_{nom} \quad (04)$$

Quadro 3 - Cobrimento nominal para elementos estruturais em contato com solo.

	Classe de agressividade ambiental			
	I	II	III	IV
cobrimento	3,0 cm	3,0 cm	4,0 cm	5,0 cm

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

2.3.3 Resistência a compressão característica do concreto

A ABNT NBR 6118 (2014) define resistência a compressão característica (f_{ck}) como sendo o valor da resistência do concreto aos 28 dias de idade em megapascal obtido através de ensaios de corpos de prova cilíndricos.

2.3.4 Classes de resistência do concreto estrutural

O concreto para uso estrutural é dividido pela ABNT NBR 8953 (2015) em dois grupos de acordo com a sua resistência característica à compressão (f_{ck}), como apresentado no quadro 4.

Quadro 4 - Classificação do concreto estrutural a partir de sua resistência.

Grupos	Classes de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)
GRUPO I	C20	20
	C25	25
	C30	30
	C35	35
	C40	40
	C45	45
	C50	50
GRUPO II	C55	55
	C60	60
	C70	70
	C80	80
	C90	90
	C100	100

Fonte: ABNT NBR 8953 (2015).

2.3.5 Resistência à tração característica do concreto

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) as resistências a tração média e característica podem ser obtidas pelas equações 05 e 06.

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m} \quad (05)$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m} \quad (06)$$

- Para concretos até a classe C50:

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad (07)$$

- Para concretos entre as classes C55 e C90:

$$f_{ct,m} = 2,12 \ln(1 + 0,11 f_{ck}) \quad (08)$$

Onde:

$f_{ct,m}$ e f_{ck} são expressos em megapascal (MPa).

2.3.6 Módulo de elasticidade do concreto

A verificação de ações de compressão e de tração de uma estrutura, ou seção transversal, podem ser feitas através do módulo de elasticidade secante (E_{cs}) (ABNT NBR 6118,2014).

Os módulos de elasticidade inicial (E_{ci}) e secante (E_{cs}) são obtidos por ensaios normatizados pela ABNT NBR 8522. Entretanto, quando tais ensaios não forem realizados, estes módulos são determinados através das equações 09, 10, 11, 12 e do quadro 5.

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad \text{Para } 20 \text{ MPa} \leq f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (09)$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Para } 55 \text{ MPa} \leq f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (10)$$

Sendo que E_{ci} e f_{ck} são dados em MPa .

Quadro 5 - Valores de α_E para cálculo do módulo de elasticidade inicial (E_{ci}).

Tipos de agregado	α_E
Basalto e Diabásio	1,2
Granito e Gnaiss	1,0
Calcário	0,9
Arenito	0,7

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (11)$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (12)$$

2.3.7 Armadura passiva

Todas as barras de aço que são utilizadas em estruturas e que não sofrem prealongamento para serem utilizadas, são chamadas de armaduras passivas. As armaduras passivas utilizadas em projetos estruturais devem ser barras de aço (categoria CA-25 ou CA-50) ou fios de aço (categoria CA-60) de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014). Com massa específica adotada de 7850 kg/m^3 , módulo de elasticidade de 210 GPa (E_s) e diâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 7480 (2007), assim como apresentado pelo quadro 6.

Quadro 6 - Diâmetros nominais das barras e fios de aço.

Fios (mm)	Barras (mm)
2,4	6,3
3,4	8,0
3,8	10,0
4,2	12,5
4,6	16,0
5,0	20,0
5,5	22,0
6,0	25,0
6,4	32,0
7,0	40,0
8,0	

9,5	
10,0	

Fonte: ABNT NBR 7480 (2007).

De acordo com a ABNT NBR 7480 (2007) as peças de aço podem ser fios ou barras. As barras são peças de aço com diâmetro nominal maior ou igual à 6,3 mm, fabricados por laminação a quente e em aço CA-50 ou CA- 25. Já os fios são peças de aço com diâmetro menor ou igual à 10 mm, fabricados por trefilação ou laminação a frio em aço CA-60. Esta norma também estabelece parâmetros mecânicos que devem ser adotados para o aço utilizado na armadura do concreto armado, conforme o quadro 7.

Quadro 7 - Propriedades mecânicas de barras e fios de aço.

Categoria	Resistência característica de escoamento em MPa (fyk)	Coeficiente de conformação superficial mínimo (η)	
		φ < 10 mm	φ ≥ 10 mm
CA-25	250	1,0	1,0
CA-50	500	1,0	1,5
CA-60	600	1,0	1,5

Fonte: ABNT NBR 7480 (2007).

A armadura passiva pode ser dimensionada através do método das bielas de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014).

2.3.7.1 Comprimento de ancoragem

A ABNT NBR 6118 (2014) mostra que para determinar o comprimento de ancoragem de uma barra, inicialmente é necessário que se calcule a resistência de aderência entre a armadura e o concreto, obtida pela equação 13:

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd} \quad (13)$$

Onde:

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c};$$

$$\eta_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{para barras lisas;} \\ 1,4 & \text{para barras entalhadas;} \\ 2,25 & \text{para barras nervuradas;} \end{cases}$$

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

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

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014) as armaduras principais estão localizadas em região de boa aderência, portanto resistência de aderência pode ser calculado, a partir da equação 13, adotando-se $\eta_2 = 1,0$ e $\alpha = 1,0$.

O comprimento de ancoragem necessário é calculado a partir do comprimento de ancoragem básico, seguindo a equação 14 mostradas a seguir:

$$l_{b,nec} = \frac{\alpha l_b A_{s,calc}}{A_{s,ef}} \geq l_{b,mín} \quad (14)$$

Onde:

$l_{b,nec}$ – Comprimento de ancoragem necessário;

$\alpha = 1,0$ para barras sem gancho;

$\alpha = 0,7$ para barras tracionadas com gancho, com cobrimento no plano normal ao gancho $\geq 3\phi$;

$\alpha = 0,7$ para barras soldadas transversalmente;

$\alpha = 0,5$ Para barras tracionadas soldadas e gancho com cobrimento no plano normal ao do gancho $\geq 3\phi$;

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4f_{bd}} \geq 25\phi;$$

$A_{s,calc}$ – Área de aço calculada;

$A_{s,ef}$ – Área de aço efetiva;

$$l_{b,mín} \geq \begin{cases} 0,3l_b \\ 10\phi \\ 100\text{mm} \end{cases} .$$

2.4 Método das bielas

2.4.1 Tensões limites

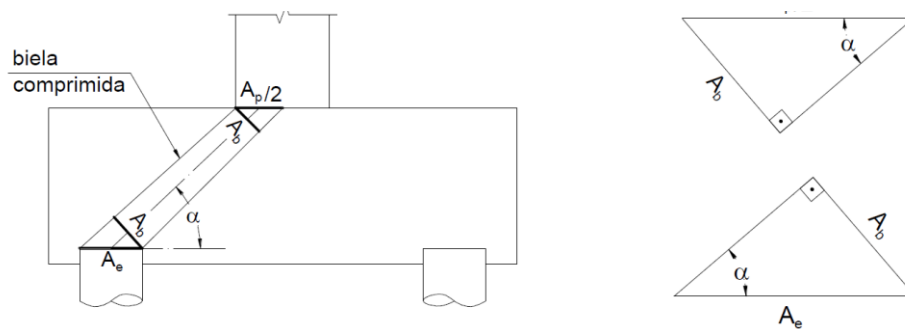
O comportamento estrutural do bloco rígido é caracterizado por esforços de tração concentrados nas linhas sobre as estacas e por transmissão dos esforços de fundação por bielas

de compressão. Além disto, o bloco é levado à ruína por compressão das bielas, ao invés de ser por tração diagonal (ABNT NBR 6118, 2014).

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), este é um método válido para o dimensionamento do bloco sobre estacas rígido, que consiste na idealização de uma treliça dentro do concreto. As bielas são as regiões da treliça idealizada que sofrem compressão, ou seja, são as regiões em que o próprio concreto suportará às solicitações. Os tirantes são as partes da treliça idealizada que sofrem tração e, portanto, serão as regiões em que se deve adicionar barras de aço (armaduras) para se resistir às solicitações. Para blocos flexíveis devem ser dimensionados de forma análoga às lajes e devem ser verificados os efeitos da punção.

Segundo Bastos (2017 apud BLÉVOT, 1967), as tensões geradas nas bielas de compressão próximas ao pilar e próximas às estacas possuem intensidades distintas devido ao ângulo formado entre as bielas e a horizontal (α), como mostra a figura 1.

Figura 1 - Distribuição da tensão nas bielas de compressão.



Fonte: Bastos (2017).

Onde:

A_p – Área do pilar;

A_e – Área da estaca;

A_b – Área da biela.

Portanto, para que seja evitado o esmagamento do concreto devido à compressão, são necessários que se respeitem as equações 15 e 16.

$$\sigma_{cd,b,pil} \leq \sigma_{cd,b,pil,lim} \quad (15)$$

$$\sigma_{cd,b,est} \leq \sigma_{cd,b,est,lim} \quad (16)$$

Onde:

$\sigma_{cd,b,pil}$ – Tensão do pilar;

$\sigma_{cd,b,est}$ – Tensão da estaca;

$\sigma_{cd,b,pil,lim}$ – Tensão limite pilar;

$\sigma_{cd,b,est,lim}$ – Tensão limite estaca.

Os valores das tensões do pilar, da estaca, dos limites e dos ângulos α , serão diferentes para cada tipo de bloco de estacas e os mesmos se encontram resumidos nos quadros 8 e 9.

Quadro 8 - Tensões internas nas bielas de compressão.

Arranjos	$\sigma_{cd,b,pil}$	$\sigma_{cd,b,est}$	$\sigma_{cd,b,pil,lim}$	$\sigma_{cd,b,est,lim}$
Duas estacas	$\frac{N_d}{A_p \cdot \sin^2 \alpha}$	$\frac{N_d}{2 \cdot A_e \cdot \sin^2 \alpha}$	$1,4 \cdot K_R \cdot f_{cd}$	$1,4 \cdot K_R \cdot f_{cd}$
Três estacas	$\frac{N_d}{A_p \cdot \sin^2 \alpha}$	$\frac{N_d}{3 \cdot A_e \cdot \sin^2 \alpha}$	$1,75 \cdot K_R \cdot f_{cd}$	$1,75 \cdot K_R \cdot f_{cd}$
Quatro estacas	$\frac{N_d}{A_p \cdot \sin^2 \alpha}$	$\frac{N_d}{4 \cdot A_e \cdot \sin^2 \alpha}$	$2,1 \cdot K_R \cdot f_{cd}$	$2,1 \cdot K_R \cdot f_{cd}$
Cinco estacas	$\frac{N_d}{A_p \cdot \sin^2 \alpha}$	$\frac{N_d}{5 \cdot A_e \cdot \sin^2 \alpha}$	$2,6 \cdot K_R \cdot f_{cd}$	$2,1 \cdot K_R \cdot f_{cd}$

Fonte: Bastos (2017).

Quadro 9 - Equações para cálculo do ângulo alfa.

Arranjos	Ângulo alfa - α
Uma estaca	-
Duas estacas	$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{d}{\frac{e}{2} - \frac{a_p}{4}} \right)$
Três estacas	$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{d}{\frac{e\sqrt{3}}{3} - 0,3a_p} \right)$

Quatro estacas	$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{d}{\frac{e\sqrt{2}}{2} - \frac{a_{p,eq}\sqrt{2}}{4}} \right)$
Cinco estacas	$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{d}{\frac{e\sqrt{2}}{2} - \frac{a_{p,eq}\sqrt{2}}{4}} \right)$
Seis estacas	$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{d}{e - \frac{a_p}{4}} \right)$

Fonte: Bastos (2017).

Onde:

f_{cd} – Resistência a compressão de cálculo;

$0,9 \leq K_R \leq 0,95$ - É um coeficiente que leva em consideração os efeitos da perda de resistência do concreto com o tempo;

e – Espaçamento entre estacas;

d – Altura útil;

a_p – Dimensão do pilar na direção paralela à seção estudada;

$a_{p,eq} = \sqrt{a_{px} \cdot a_{py}}$.

a_{px} – Dimensão do pilar na direção paralela à x;

a_{py} – Dimensão do pilar na direção paralela à y.

De acordo com Bastos (2017), caso a altura útil respeite os valores de mínimo e máximo, não há necessidade de se verificar as tensões de compressão nas bielas do bloco sobre seis estacas.

2.4.2 Altura útil

Segundo Bastos (2017) a altura útil (d) para o bloco de uma estaca deve ser da ordem de 120% do diâmetro da estaca (ϕ_e), e que a altura total (h) pode ser adotada igual à altura útil mais 5 cm. Além disto, a ABNT NBR 6118 (2014) orienta que a altura útil não pode ser menor que o comprimento de ancoragem do pilar (l_{bp}).

$$d \geq \begin{cases} 1,2\phi_e \\ l_{bp} \end{cases} \quad (17)$$

Onde:

ϕ_e – Diâmetro da estaca;

Para garantir que os demais blocos não apresentem risco de se romper devido à efeitos de punção, Bastos (2017 apud MACHADO, 1985) estabelece que, o ângulo entre a biela de compressão e a horizontal (α), deve ser um valor entre 45° e 55°. Portanto, através da análise da distribuição das bielas para cada bloco, se encontrará valores diferentes para os limites da altura útil mínima (quando $\alpha = 45^\circ$) e máxima (quando $\alpha = 55^\circ$) que podem ser consultados no quadro 10.

Quadro 10 - Limites mínimos e máximos para a altura útil.

Arranjos	$d_{mín}$	$d_{máx}$
Uma estaca	-	-
Duas estacas	$\geq \begin{cases} 0,5 \left(e - \frac{a_p}{2} \right) \\ l_{bp} \end{cases}$	$0,714 \left(e - \frac{a_p}{2} \right)$
Três estacas	$\geq \begin{cases} 0,58 \left(e - \frac{a_p}{2} \right) \\ l_{bp} \end{cases}$	$\geq 0,825 \cdot \left(e - \frac{a_p}{2} \right)$
Quatro estacas	$\geq \begin{cases} 0,71 \left(e - \frac{a_{p,eq}}{2} \right) \\ l_{bp} \end{cases}$	$\geq \left(e - \frac{a_{p,eq}}{2} \right)$
Cinco estacas	$\geq \begin{cases} 0,71 \left(e - \frac{a_{p,eq}}{2} \right) \\ l_{bp} \end{cases}$	$\geq \left(e - \frac{a_{p,eq}}{2} \right)$
Seis estacas	$\geq \begin{cases} \left(e - \frac{a_p}{4} \right) \\ l_{bp} \end{cases}$	$\geq 1,43 \left(e - \frac{a_p}{4} \right)$

Fonte: Bastos (2017).

Para a altura total (h), Bastos (2017) apresenta as equações 18 e 19:

$$h = d + d' \quad (18)$$

$$d' \geq \begin{cases} 5 \text{ cm} \\ \frac{a_{est}}{5} \end{cases} \quad (19)$$

Onde:

$a_{est} = \sqrt{\pi} * \frac{\phi_e}{2}$ – Dimensão de uma estaca quadrada de área equivalente à estaca circular.

2.4.3 Armaduras

O bloco sobre uma estaca é o único que não apresenta formação de grandes esforços de tração. Pois a transmissão de esforços do pilar para a estaca acontece de forma direta. Dessa forma, o bloco terá apenas estribos horizontais e verticais (Alonso, 2001). De acordo com Bastos (2017), os estribos horizontais são calculados para resistirem ao fendilhamento, e os estribos verticais são necessários apenas por motivos construtivos. Por fim, as áreas de aço adotadas para os estribos verticais e horizontais podem ser consideradas iguais a equação 20.

$$A_{s,w} = A_{s,wh} = \frac{0,25 \cdot N_d}{f_{yd}} \quad (20)$$

Onde:

$A_{s,w}$ – Área de aço do estribo vertical;

$A_{s,wh}$ – Área de aço do estribo horizontal;

f_{yd} – Resistência ao escoamento de cálculo do aço.

Segundo Bastos (2017), para os demais blocos a área de aço principal pode ser obtida pela equação 21.

$$A_s = \frac{R_s}{f_{yd}} \quad (21)$$

Sendo R_s o esforço de tração gerado pela distribuição de esforços no interior do bloco. Devido a isto, o mesmo assume valores distintos para cada bloco. As equações completas para cálculo das armaduras principais se encontram no quadro 11. Onde também se encontram as demais relações para cálculo das armaduras de malha/suspensão, superior e de pele.

Para que os blocos de três, quatro cinco e seis estacas possuam menores fissurações e maior economia, recomenda-se que a armadura principal desses seja distribuída paralelamente às faces laterais do bloco. Desta forma, se obtém as fórmulas do quadro 11, para o cálculo das armaduras principais (BASTOS, 2017).

Quadro 11 - Equações para cálculo de armaduras do bloco de estacas.

Arranjos	Armadura principal	Armadura de malha/suspensão por face ($A_{s,malha}$ e $A_{s,susp/face}$)	Armadura superior ($A_{s,sup}$)	Armadura de pele ($A_{sp,face}$)
Duas estacas	$\frac{1,15N_d(2e - a_p)}{f_{yd}8d}$	-	$= 0,2A_s$	-*
Três estacas	$\frac{\sqrt{3} N_d(e\sqrt{3} - 0,9a_p)}{f_{yd}27d}$	$\geq \begin{cases} 0,5A_s \\ N_d \\ 13,5 f_{yd} \end{cases}$	$= 0,2A_s$	$= \frac{3}{8} A_s$
Quatro estacas	$\frac{N_d(2e - a_{p,eq})}{f_{yd}16d}$	$\geq \begin{cases} 0,25A_s \\ N_d \\ 24 f_{yd} \end{cases}$	$= 0,2A_s$	$= \frac{1}{2} A_s$
Cinco estacas	$\frac{N_d(2e - a_{p,eq})}{f_{yd}20d}$	$\geq \begin{cases} 0,25A_s \\ N_d \\ 30 f_{yd} \end{cases}$	$= 0,2A_s$	$= \frac{1}{2} A_s$
Seis estacas	$\frac{N_d(e - a_p/4)}{f_{yd}6d}$	$\geq \begin{cases} 0,25A_s \\ N_d \\ 36 f_{yd} \end{cases}$	$= 0,2A_s$	$= \frac{1}{2} A_s$

* - As armaduras de pele e de estribos verticais do bloco de suas estacas são tomadas iguais a uma parcela da dimensão B do bloco:

$$\left(\frac{A_{sp}}{s}\right)_{\min,face} = \left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{\min,face} = 0,075B \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

E os seguintes limites para o espaçamento dos estribos verticais:

$$s_{m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 15 \text{ cm} \\ 0,5a_{est} \end{cases}$$

Fonte: Bastos (2017).

De acordo com Bastos (2017), o espaçamento da armadura de pele deve seguir os limites das equações 22 e 23.

$$s_{m\acute{a}x} \leq \begin{cases} d/3 \\ 20 \text{ cm} \end{cases} \quad (22)$$

$$s_{m\acute{i}n} = 8 \text{ cm} \quad (23)$$

2.4.4 Dimensões em planta

As equações apresentadas no quadro 12 para as dimensões em planta dos blocos, foram determinadas para que sempre sejam garantidos o comprimento necessário de aderência da armadura principal, cobrimento nominal e a geometria do bloco.

Quadro 12 - Resumo das dimensões em planta do bloco sobre estaca.

Arranjos	Dimensão A, paralela à x	Dimensão B, paralela à y
Uma estaca*	$\geq \begin{cases} \phi_e + 2 \cdot a' \\ a_{px} + 2 \cdot 5 \text{ cm} \\ a_{py} + 2 \cdot 5 \text{ cm} \end{cases}$	$= A$
Duas estacas	$\geq \begin{cases} e - \phi_e + 2 \cdot (L_{b,nec} + c_{nom} + \phi_{pele}) \\ e + \phi_e + 2 \cdot 15 \text{ cm} \end{cases}$	$= \phi_e + 2 \cdot a'$
Três estacas	$\geq \begin{cases} e - \phi_e + 2 \cdot \left[L_{b,nec} + \left(\frac{c_{nom} + \phi_{pele}}{\sin(60^\circ)} \right) \right] \\ e + \phi_e + 2 \cdot 15 \text{ cm} \end{cases}$	$= A \cdot \cos(30^\circ)$
Quatro estacas	$\geq \begin{cases} e - \phi_e + 2 \cdot (L_{b,nec} + c_{nom} + \phi_{pele}) \\ e + \phi_e + 2 \cdot 15 \text{ cm} \end{cases}$	$= A$
Cinco estacas	$\geq \begin{cases} e - \phi_e + 2(L_{b,nec} + c_{nom} + \phi_{pele}) \\ e + \phi_e + 2 \cdot 15 \text{ cm} \end{cases}$	$= A$

Seis estacas**	$= 2 \left(e + \frac{A'}{\cos 30^\circ} \right)$	$= A \cdot \sin 60^\circ$
*a' – É igual a 15 cm para edificações de grande porte, e igual a 5 cm para edificações ** $A' \geq \begin{cases} l_{b,nec} + \phi_{pele} + c_{nom} - \frac{\phi_{est}}{2} \\ \frac{\phi_{est}}{2} + 15 \text{ cm} \end{cases}$		

Fonte: Bastos (2017).

Onde:

c_{nom} – Cobrimento nominal do concreto;

ϕ_{pele} – Bitola da armadura de pele.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste na escolha do *software* para a elaboração da planilha eletrônica, parametrização dos arranjos de blocos, adoção do método de dimensionamento que reduza o volume de aço e concreto.

3.1 Escolha do *software*

O *software Excel®* foi escolhido para a elaboração da planilha devido a sua compatibilidade com os demais *softwares* do pacote *Microsoft OFFICE®*, por possuir a opção de se trabalhar com rotinas em ambiente do *VBA (Visual Basic for Applications)* e pela possibilidade de se implementar interações entre o *Excel®* com o *AutoCAD®*.

O *software Excel®* pertence ao pacote *Microsoft OFFICE®* e é utilizado para criação de planilhas eletrônicas. As planilhas eletrônicas são tabelas formadas por várias células, construídas em ambiente eletrônico. Cada célula possui um endereço composto por letras e números que indicam respectivamente a coluna e a linha em que a mesma se encontra.

3.1.1 Funções

De acordo com o site oficial de suporte da Microsoft (2018), as fórmulas que são escritas dentro das células podem ser funções internas do próprio *Excel®* ou funções compostas por operadores matemáticos, sendo que tais fórmulas são sempre precedidas de um sinal de igualdade. As funções internas do *Excel®* são divididos em categorias, dentre as mais conhecidas estão: as funções lógicas (“SE”; “E” e “OU”); as funções de pesquisa e referência (“PROCH” e “PROCV”) e as funções matemáticas (“pi” e “soma”). Além disto, a linguagem de *VBA* permite ao usuário a criação de funções próprias.

Simplificadamente as células do *software Excel®* podem ser preenchidas com um ou mais dos 4 elementos a seguir: funções, referências, constantes ou operadores. As células podem ser referenciadas dentro de funções através do seu endereço. Valores constantes também podem ser inseridos dentro das funções, geralmente acompanhadas por operadores matemáticos que estabeleceram a relação entre constante e função.

3.1.2 Ferramenta *Solver*

Ainda segundo o site de suporte da Microsoft (2018) o *Solver* é um suplemento do do *Excel*® usado para a solução de problemas matemáticos. Ou seja, a partir dele pode-se minimizar, maximizar ou convergir a resposta de um problema à um certo valor, alterando-se as células variáveis. O *Solver* ainda permite o estabelecimento de restrições para a solução do problema. Resumidamente, esta ferramenta varia os valores de certas células, respeitando as restrições impostas, até que se alcance o objetivo escolhido pelo usuário.

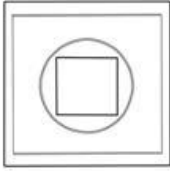
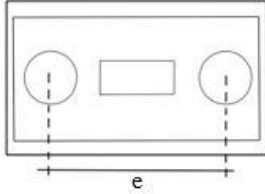
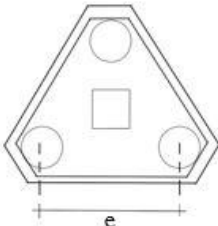
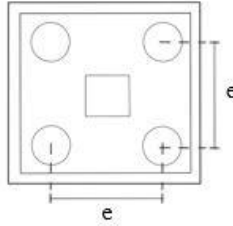
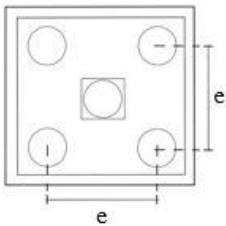
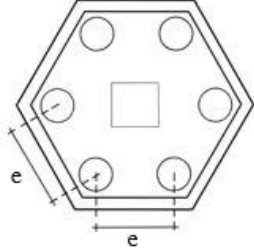
3.1.3 Gravação de Macros

A Automatização de processos que se repetem ao longo da planilha é de grande importância para que se ganhe agilidade. Portanto, de acordo com o suporte da Microsoft (2018), o usuário pode ser auxiliado pela opção “gravar macros”. A partir do menu “Desenvolvedor” o usuário pode ativar esta opção que grava todas as suas ações em linguagem VBA. Após a gravação, as macros gravadas podem ser acessadas e editadas no menu de macros pelo usuário.

3.2 Parametrização dos arranjos

Os blocos apresentados no quadro 13 foram escolhidos de forma a apresentar a posição do pilar mais centralizada possível. Em caso de situações em que o pilar seja excêntrico é possível se considerar os efeitos dessa excentricidade pelo acréscimo do momento gerado pela multiplicação da carga centrada do pilar pela sua excentricidade.

Quadro 13 – Configuração de arranjos parametrizados.

ARRANJOS			
U M A E S T A C A		D U A S E S T A C A S	
T R Ê S E S T A C A S		Q U A T R O E S T A C A S	
C I N C O E S T A C A S		S E I S E S T A C A S	

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Todo o detalhamento das armaduras referentes aos blocos do quadro 13 se encontram no apêndice A.

3.3 Implementação numérica

Foram implementados apenas os dimensionamentos para blocos rígidos, pois a análise de blocos flexíveis demandaria uma maior densidade de análises, o que tornaria inviável a conclusão deste trabalho em tempo hábil. Desta forma, para a automatização da planilha foram desenvolvidas sub-rotinas em linguagem de programação VBA com o auxílio do *Solver* e da gravação de macros. As sub-rotinas foram desenvolvidas para que, automaticamente, se dimensionasse um bloco rígido como menor volume de concreto e de aço que atenda à todas as solicitações impostas e valores limites revisados.

Para que o bloco seja dimensionado são necessários os seguintes valores de entrada:

Informações do pilar: Dimensões do pilar (a_{px} e a_{py}); Carga centrada do pilar (N_d); Momento nas duas direções (M_{dx} e M_{dy}); Comprimento de ancoragem do pilar (l_{bp}) e Tipo de edificação (escolha entre: pequeno e grande porte).

Informações da estaca: Diâmetro da estaca (ϕ_e) e Capacidade de carga admissível.

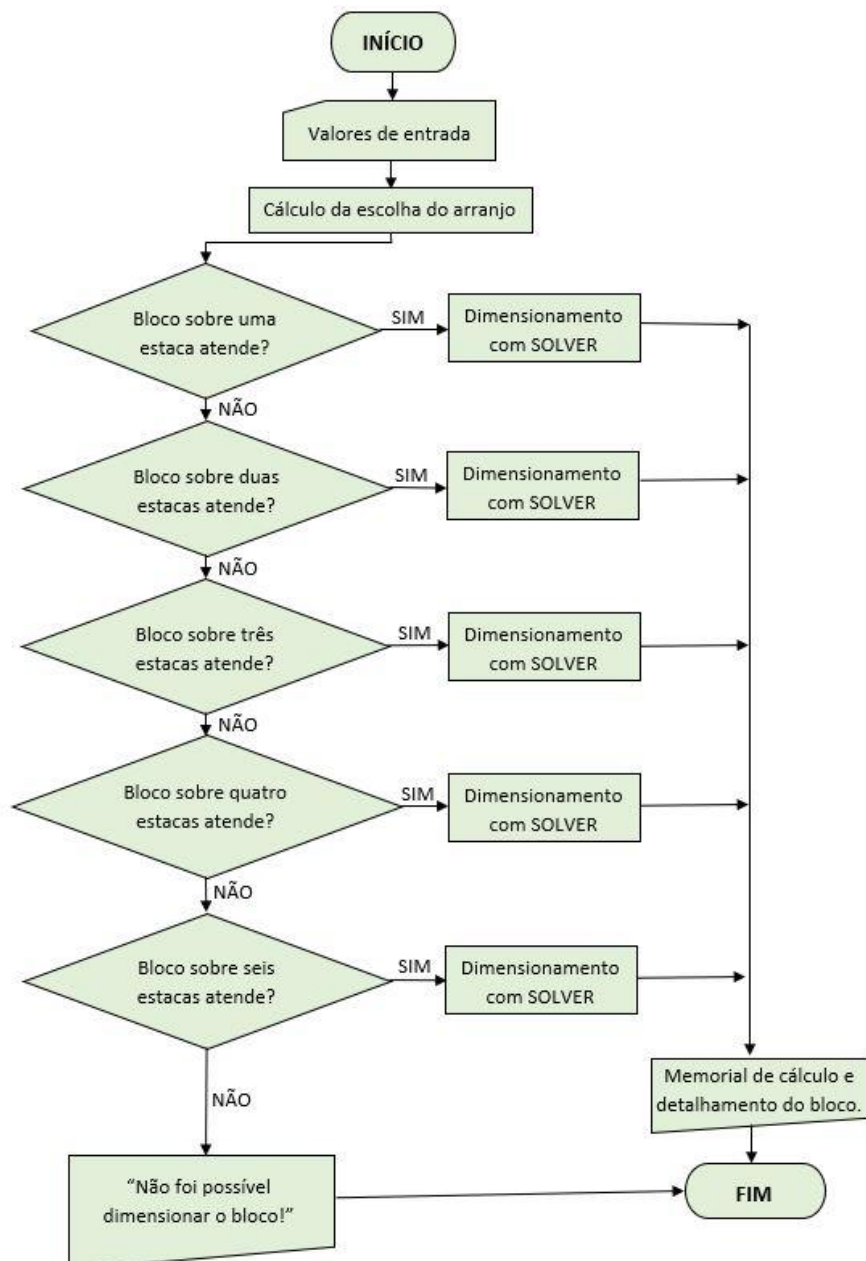
Informações sobre o concreto: Diâmetro máximo do agregado graúdo; Classe ambiental; Classe do concreto; Coeficiente de segurança (γ_c) e Preço do concreto.

Informações do aço: Massa específica; Coeficiente de segurança do aço; Tipo de aço; Tipo de superfície do aço e Preço do aço.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a conclusão das sub-rotinas, se obteve como produto, a rotina representada pela figura 2.

Figura 2 – Fluxograma da rotina principal.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A escolha do arranjo leva em consideração a redução na capacidade de carga das estacas proveniente do efeito de grupo, assim como mostrado no subitem 2.2.5. Além disto a rotina emite um alerta caso existam uma ou mais estacas sobre tração.

Para dimensionar os blocos sobre estacas através do *Solver*, foi necessário programá-lo em linguagem de VBA para que o mesmo seja executado mais de uma vez em um mesmo dimensionamento, com exceção do bloco sobre uma estaca que pode ser dimensionado com apenas uma execução do *Solver*. Os demais blocos precisam de cinco iterações para se obter o menor volume de concreto, pela redução da altura útil e para obtenção da menor diferença, entre as áreas de aço efetiva e calculada, de todas as quatro armaduras. Obtendo-se assim, a combinação que resultará em menores volumes de aço.

4.1 Aplicações práticas

Para que sejam testados a capacidade de dimensionamento e a coerência dos resultados da planilha, se utilizou exemplos de blocos de duas, três e quatro estacas, encontrados nas bibliografias consultadas.

4.1.1 Exemplo de bloco sobre duas estacas

Exemplo de aplicação da página 187 do livro Exercícios de fundações de Alonso (2001)

Dados da questão:

$\phi_e = 40 \text{ cm}$; $a_{px} = a_{py} = 50 \text{ cm}$; $N_d = 700 \text{ kN}$; Aço CA-50; $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$ e $e = 1,4 \text{ m}$.

Por fim, após a utilização da planilha para a realização do dimensionamento se obteve os resultados apresentados no quadro 14.

Quadro 14 – Resolução comparativa do exemplo de duas estacas.

	Valores da bibliografia	Valores calculados pela planilha
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	9,3	9,26
$A_{s,ef} \text{ (cm}^2\text{)}$	10,05	9,55
$A_{sp,lado} \text{ (cm}^2\text{)}$	1,2	2
$A_{sp,lado,ef} \text{ (cm}^2\text{)}$	1,25	1,8
$A \text{ (m)}$	2	1,7

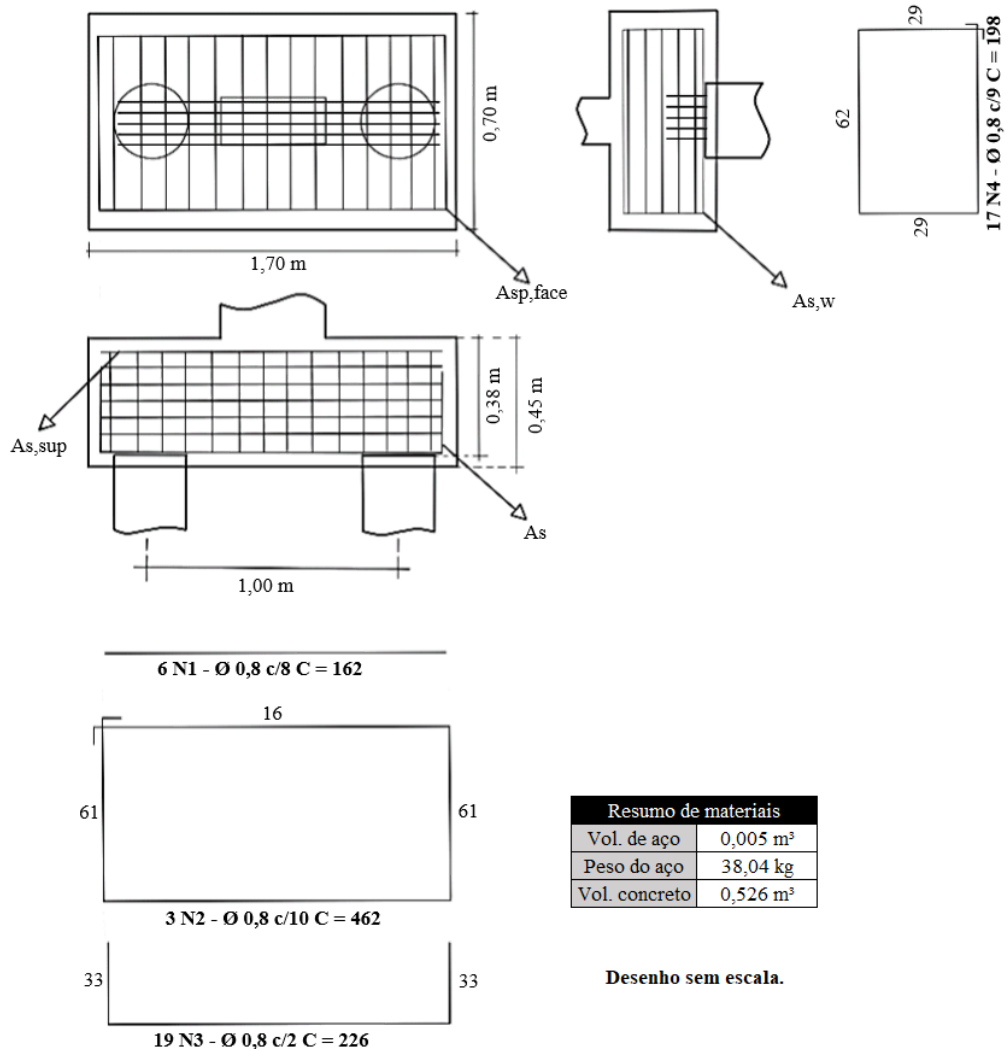
B (m)	0,6	0,7
h (m)	0,8	0,45
Vol (m ³)	0,96	0,54

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Ao se observar o quadro 14 pode-se notar que os valores foram bem próximos, a solução obtida na bibliografia mostrou resultados de volume de aço um pouco menores. Entretanto obteve volume de concreto cerca de 78% à mais do que a solução da planilha.

A figura 3 mostra o detalhamento gerado pela planilha para o bloco de duas estacas.

Figura 3 - Detalhamento do bloco de duas estacas da aplicação prática.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.1.2 Exemplo de bloco sobre três estacas

Exemplo 2 do item 14 da apostila “Bloco de Fundação” do professor Bastos (2017). A seguir são apresentados os dados de entrada dados no exemplo:

Diâmetro da estaca: 0,7 m;

Seção transversal do pilar: 65 x 65 cm;

Carga vertical do pilar: 5000 KN;

Coefficientes de ponderação: 1,4 e 1,15 para concreto e aço respectivamente;

Concreto: C25; aço CA-50;

Cobrimento nominal: $c=4$ cm.

Os dados de entrada foram inseridos na planilha como mostrado no quadro 15. Para realizar o dimensionamento se acionou a sub-rotina pressionando o botão “Dimensionar Bloco”. Por fim o resultado do dimensionamento é apresentado no quadro 16.

Quadro 15 - Resumo dos dados de entrada da aplicação prática.

Características do pilar	
apx	0,65 m
apy	0,65 m
Nd	5000,00 KN
Características da estaca	
Diâmetro - ϕ_e	0,70 m
Características do concreto	
Cobrimento nominal	4,00 cm
Classe do concreto	C25
Coefficiente de segurança - γ_c	1,4
Características do Aço	
Coef. de segurança do aço - γ_s	1,15
Tipo de aço	CA-50 (Barra)

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Quadro 16 - Resolução comparativa do exemplo de três estacas.

	Valores da bibliografia	Valores calculados pela planilha
A_s (cm ²)	27,95	21,83
$A_{s,ef}$ (cm ²)	28,35	22,09
$A_{s,sup}$ (cm ²)	8,39	6,55
$A_{s,sup,ef}$ (cm ²)	8,5	9,55
$A_{s,malha}$ (cm ²)	12,75	8,52
$A_{s,malha,ef}$ (cm ²)	12,5	9,55
$A_{sp,face}$ (cm ²)	10,48	8,19

$A_{sp,face,ef}$ (cm ²)	10,40	8,59
h (m)	1,6	0,95
α (°)	49,9	45
$\sigma_{cd,b,pil}$ (Mpa)	28,3	23,67
$\sigma_{cd,b,est}$ (Mpa)	10,4	8,66
$\sigma_{cd,b,lim}$ (Mpa)	29,7	28,13

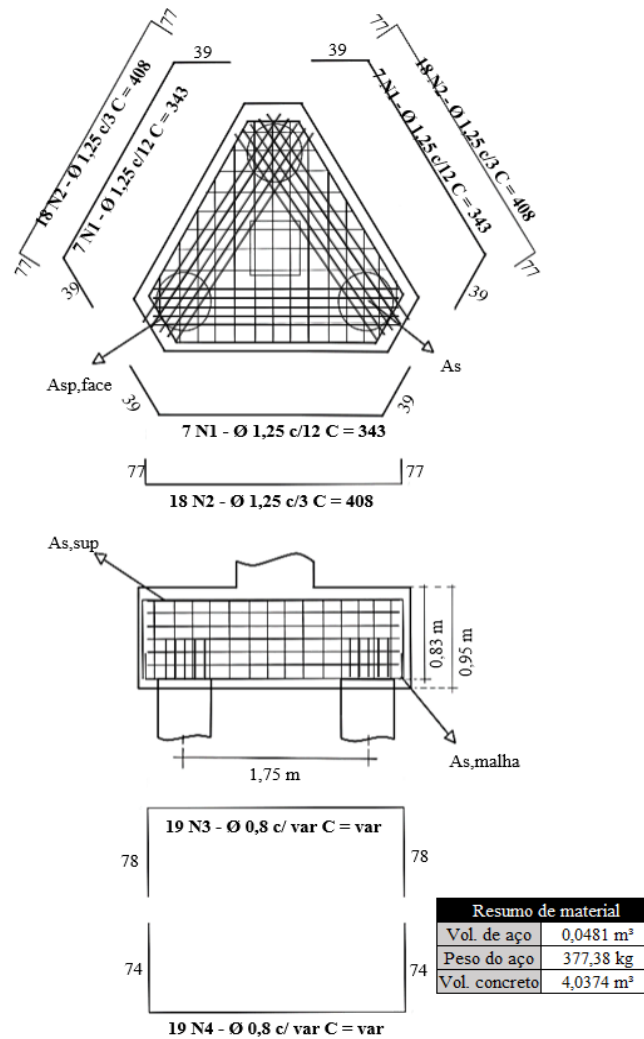
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Pode-se perceber que a solução da planilha foi bastante eficiente nesta aplicação, já que seus valores foram menores que o da resolução do exemplo. Como se pode notar nos valores do quadro 16, os critérios de verificação das bielas foram respeitados. A solução da planilha adotou a altura útil igual à mínima e mesmo assim os demais critérios foram atendidos.

É importante ressaltar que na solução do exemplo da apostila, a altura total do bloco é adotada por um tentativa e erro o que pode gerar um dimensionamento maior do que se necessita.

Na figura 4 é apresentado o detalhamento gerado pela planilha com uma estimativa do volume total de aço e de concreto.

Figura 4 - Detalhamento do bloco de três estacas da aplicação prática.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.1.3 Exemplo de bloco sobre quatro estacas

Exemplo de aplicação da página 191 do livro Exercícios de fundações de Alonso (2001)

Dados da questão:

$\phi_e = 40 \text{ cm}$; $a_{px} = a_{py} = 50 \text{ cm}$; $N_d = 2200 \text{ kN}$; Aço CA-50; $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$ e $e = 1,2 \text{ m}$.

O quadro 17 mostra o resumo das soluções obtidas pela bibliografia e pela planilha.

Quadro 17 - Resolução comparativa do exemplo de quatro estacas.

	Valores da bibliografia	Valores calculados pela planilha
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	21	8,91
$A_{s,ef} \text{ (cm}^2\text{)}$	22,12	9,55

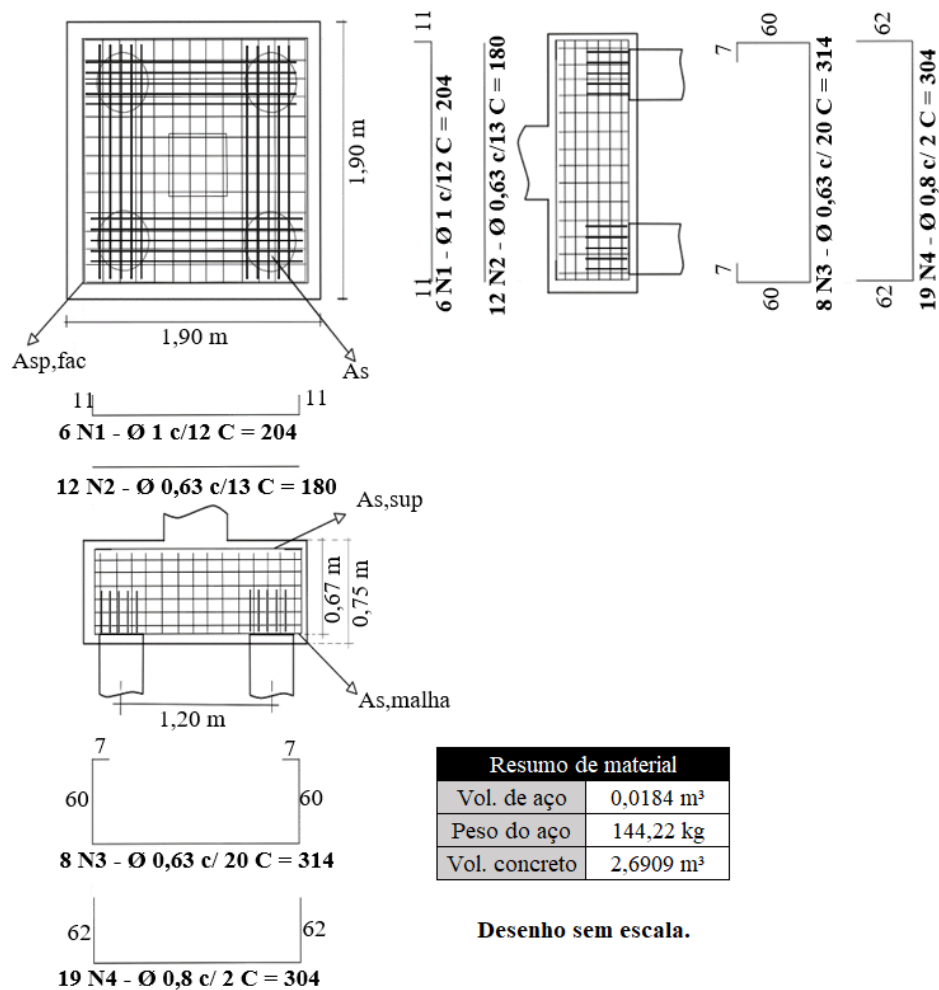
$A_{sp,lado}$ (cm ²)	2,6	4,45
$A_{sp,lado,ef}$ (cm ²)	3,14	4,71
h (m)	0,9	0,75

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Ao se observar o quadro 17 nota-se que os valores obtidos na bibliografia e na planilha para as armaduras foram equilibrados. A área de aço da armadura principal calculada pela planilha foi menos da metade que o da bibliografia. Em contrapartida, para a armadura de pele a situação foi oposta. De forma geral o bloco calculado pela planilha continua sendo o de menores volumes de aço e de concreto devido as proporções dos valores de cara área de aço.

A figura 5 mostra o detalhamento gerado pela planilha para o bloco de quatro estacas.

Figura 5 - Detalhamento do bloco de quatro estacas da aplicação prática.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das dificuldades enfrentadas na elaboração da planilha foi a realização da automatização dos detalhamentos, pois foi necessário se trabalhar com diversas caixas de texto, o que dificulta bastante qualquer modificação posterior na organização do detalhamento.

O suplemento *solver* se mostrou limitado há um certo nível de complexidade do problema abordado. Devido a isto, a elaboração de sub-rotinas foi necessária para que o dimensionamento do bloco pudesse ser realizado. Contudo, a execução dessas sub-rotinas tornou todo o processo de dimensionamento um pouco demorado.

As soluções obtidas na planilha são caracterizadas por barras de pequeno diâmetro, o que efetivamente reduz o volume final do bloco. Entretanto, pode dificultar a execução do mesmo. Portanto, torna-se importante a análise crítica sobre as soluções fornecidas pela planilha, e quando necessário, deve-se modificar manualmente a escolha do número de barras e da bitola para que se obtenha um equilíbrio entre a otimização teórica e prática.

Por fim, a ferramenta construída se mostrou capaz de dimensionar a estrutura de maneira relativamente rápida e reduzindo-se os volumes de concreto e de aço. Esses resultados são mais eficientes que os consultados na bibliografia, pois os cálculos feitos na planilha partem de várias tentativas e erro até que se atinja a meta estabelecida. Além disso a planilha elaborada pode ser impressa em formato de memorial de cálculo e de detalhamento.

Sugestões para próximos trabalhos:

- Implementação de uma maior variação de formas para blocos com mesma quantidade de estacas;
- Implementação numérica para o dimensionamento e detalhamento de blocos com mais de seis estacas;
- Implementação numérica de interação entre o *software Excel®* e o *AutoCAD®* para gerar detalhamentos em escala e em formato CAD;
- Implementar a geração de relatórios mais completos e em arquivo editável do Word;
- Implementar um método mais acurado para o cálculo da eficiência de grupo;
- Implementação numérica de dimensionamento e detalhamento de estacas;
- Implementação do cálculo da capacidade de carga das estacas, levando-se em considerações critérios geotécnicos e estruturais.

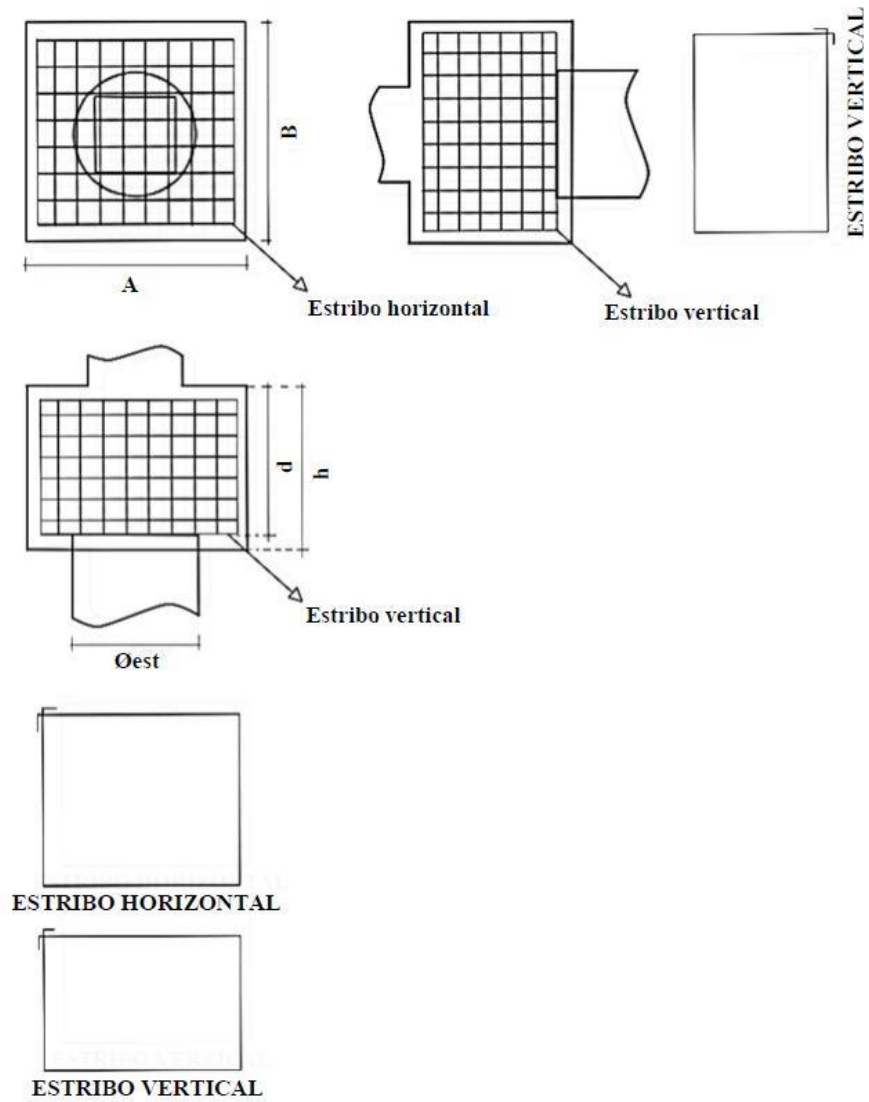
REFERÊNCIAS

- ALONSO, Urbano Rodriguez. Cálculo de Estaqueamentos. In: ALONSO, Urbano Rodriguez. **Dimensionamento de fundações profundas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2012. Cap. 2.
- ALONSO, Urbano Rodriguez. Dimensionamento estrutural de blocos sobre estacas. In: ALONSO, Urbano Rodriguez. **Exercícios de fundações**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2001. Cap. 10. p. 185-201.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118-2014: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122-1996: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480-2007: Aço destinado a armadura para estruturas de concreto armado - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953-2015: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **BLOCOS DE FUNDAÇÃO**. 2017. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Blocos.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2018.
- BOLINA, F.; TUTIKIAN, B.. Specification faced with durability to meet superior level of performance in structural elements buried. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.275-296, abr. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952016000200008>.
- MICROSOFT. **Automatizar tarefas com o gravador de macros**. Disponível em: <<https://support.office.com/pt-br/article/automatizar-tarefas-com-o-gravador-de-macros-974ef220-f716-4e01-b015-3ea70e64937b>>. Acesso em: 07 set. 2018.
- MICROSOFT. **Definir e resolver um problema usando o Solver**. Disponível em: <<https://support.office.com/pt-br/article/definir-e-resolver-um-problema-usando-o-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>>. Acesso em: 07 set. 2018.
- MICROSOFT. **Visão geral de fórmulas no Excel**. Disponível em: <<https://support.office.com/pt-br/article/vis%C3%A3o-geral-de-f%C3%B3rmulas-no-excel-ecfdc708-9162-49e8-b993-c311f47ca173>>. Acesso em: 07 set. 2018.
- OLIVEIRA, R. C. F. **Gerenciamento de projetos e a aplicação da análise de valor agregado em grandes projetos**. 2003. 127 f. Dissertação (mestrado em engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

TUAN, Pham Anh. A Simplified Formular For Analysis Group Efficiency of Piles in Granular Soil. **International Journal Of Scientific & Engineering Research**. Danang, p. 15-21. jul. 2016. Disponível em: <<https://www.ijser.org/researchpaper/A-Simplified-Formular-For-Analysis-Group-Efficiency-of-Piles-in-Granular-Soil.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2018.

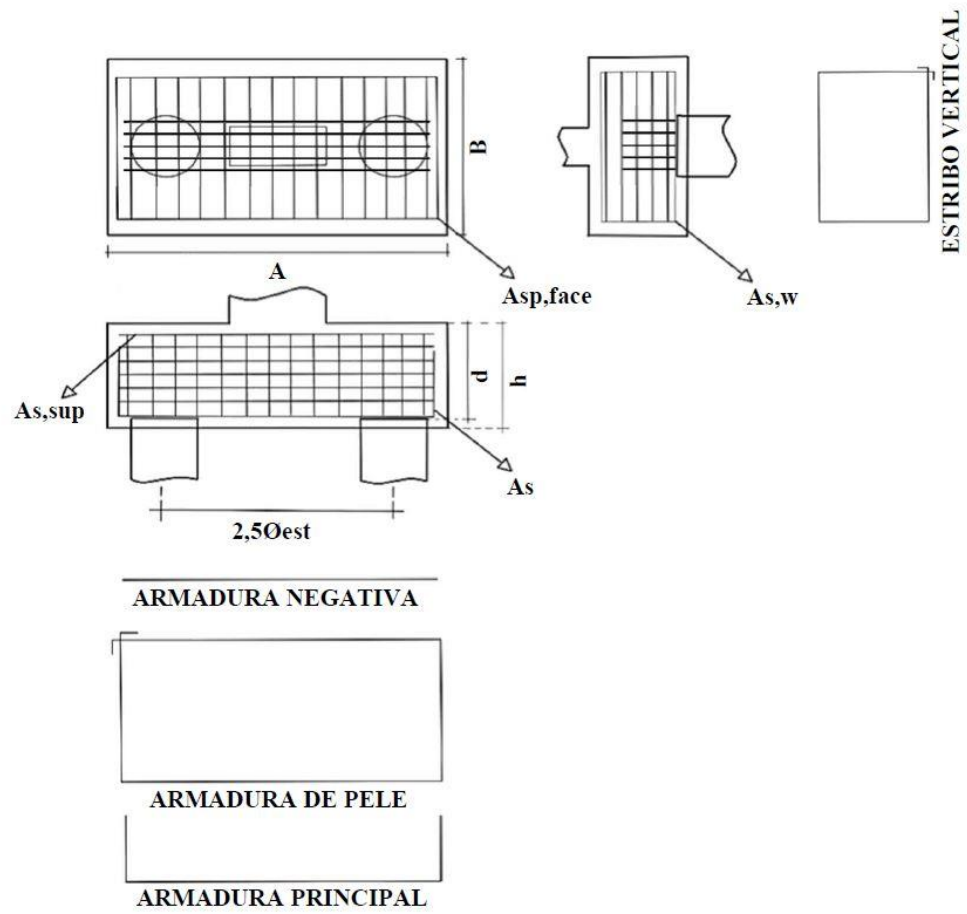
APÊNDICE A – DETALHAMENTO DOS BLOCOS

Figura 6 – Detalhamento do bloco sobre uma estaca.



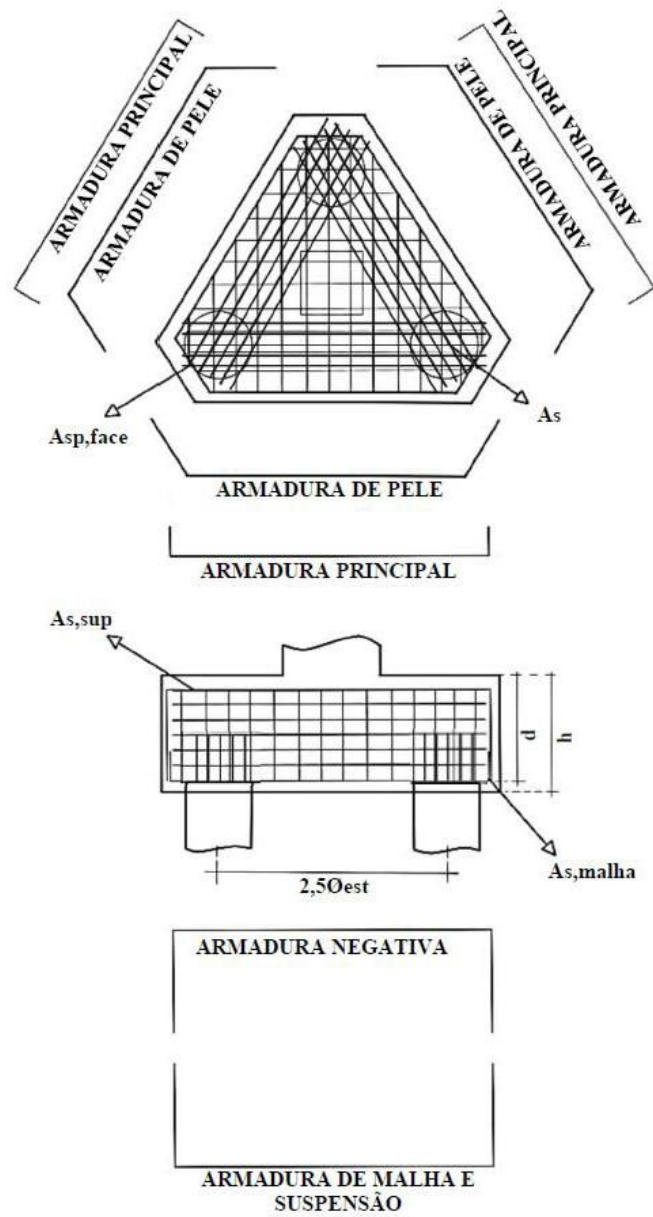
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 7 – Detalhamento do bloco sobre duas estacas.



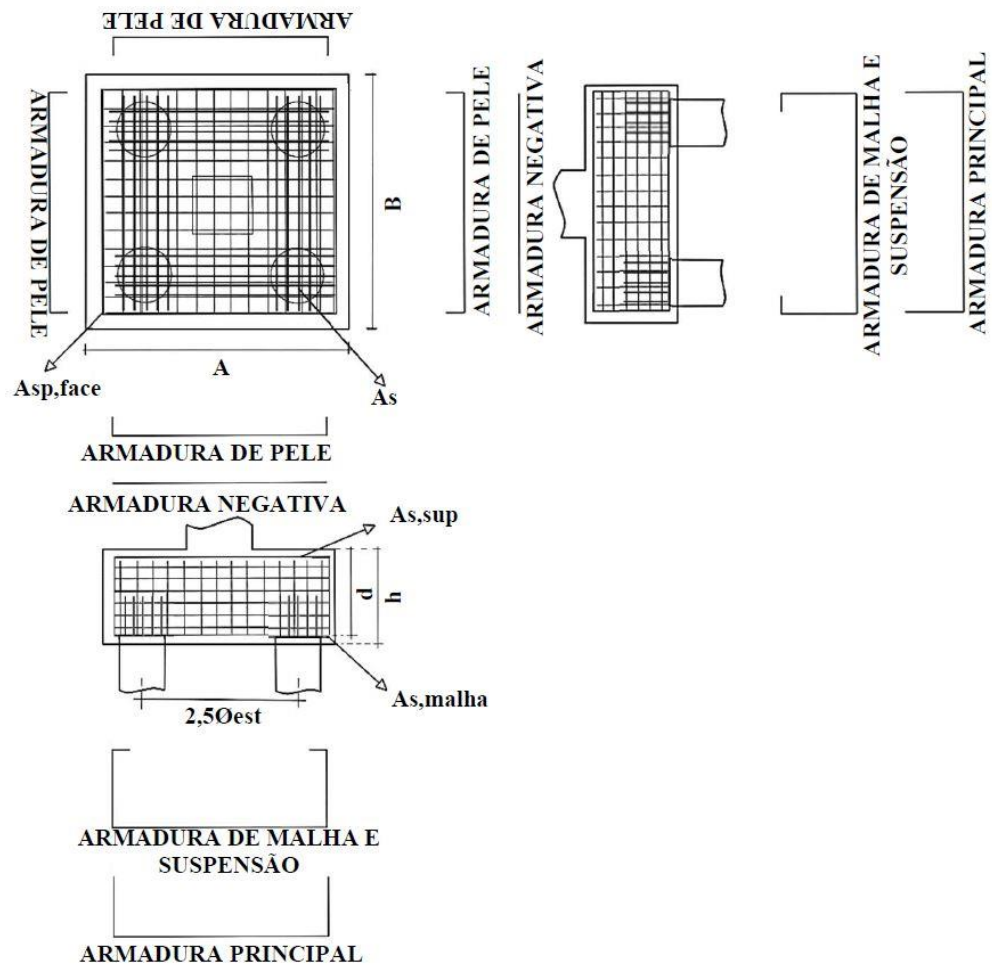
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 8 – Detalhamento do bloco sobre três estacas.



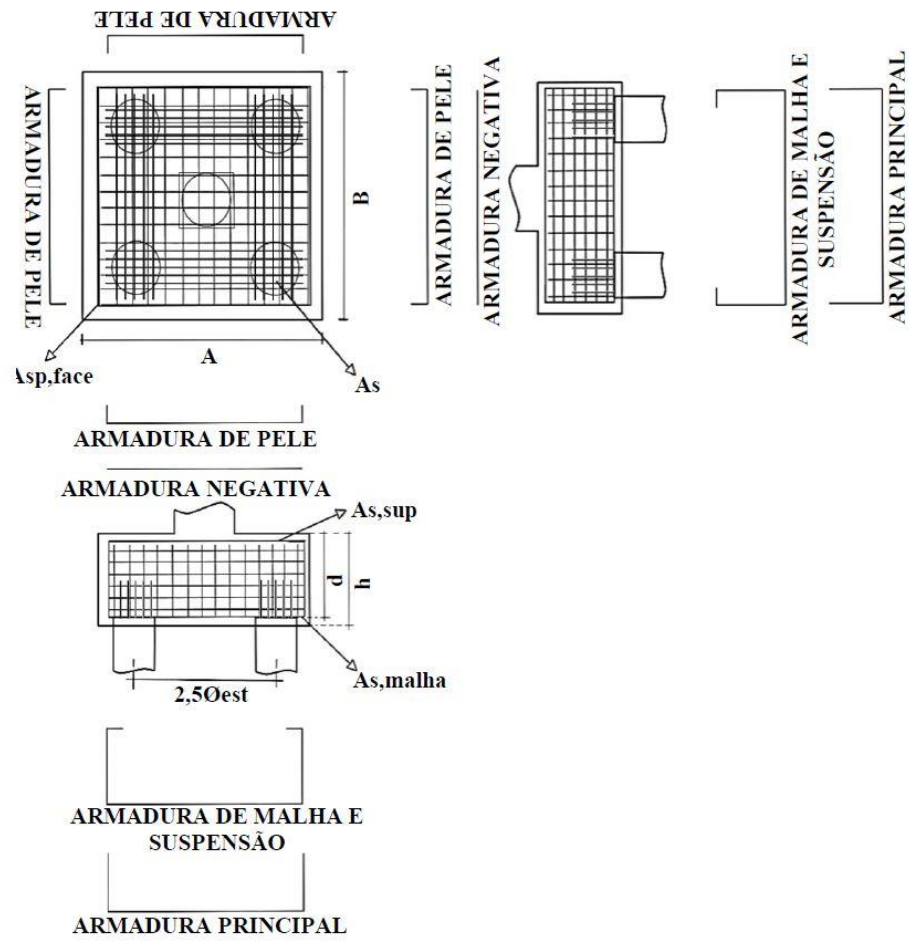
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 9 – Detalhamento do bloco sobre quatro estacas.



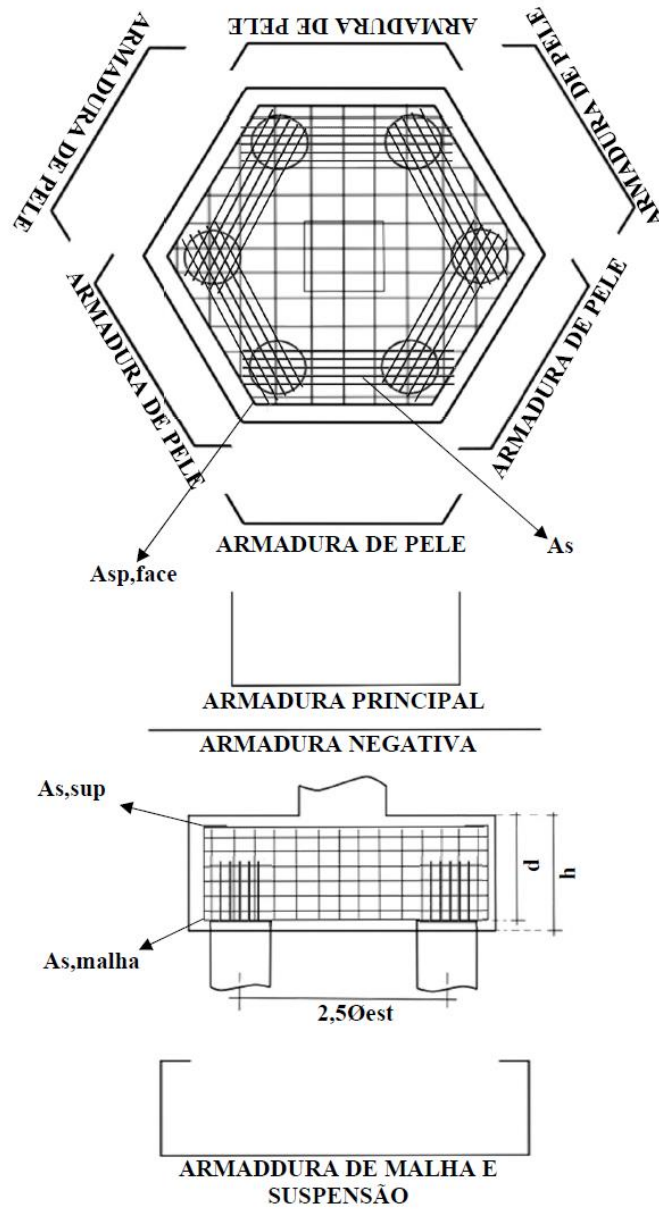
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 10 – Detalhamento do bloco sobre cinco estacas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 11 – Detalhamento do bloco sobre seis estacas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).