

**AMANDA CRISTINA DA SILVA
RODRIGO DE OLIVEIRA CALADO**

**DESENVOLVIMENTO DE PLANILHA DIGITAL PARA
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO PROFUNDA**

Juiz de Fora

2019

**AMANDA CRISTINA DA SILVA
RODRIGO DE OLIVEIRA CALADO**

**DESENVOLVIMENTO DE PLANILHA DIGITAL PARA
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO PROFUNDA**

Monografia de Conclusão de Curso, apresentada ao curso de Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Wellington Coutinho

Juiz de Fora

2019

**AMANDA CRISTINA DA SILVA
RODRIGO DE OLIVEIRA CALADO**

**DESENVOLVIMENTO DE PLANILHA DIGITAL PARA
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO PROFUNDA**

Monografia de Conclusão de Curso, submetida à Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada pela seguinte banca examinadora.

Me. Eng. Wellington Coutinho

Orientador e Docente da Faculdade Doctum – Unidade Juiz de Fora

Me. Eng. Daniela Silva Santurio

Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Bruno Gouvea de Barros

Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Examinada em: ___/___/___.

Ficha Catalográfica Elaborada pela Biblioteca Faculdade Doctum /JF

Silva, Amanda Cristina; Calado, Rodrigo de Oliveira.

Desenvolvimento de plataforma digital para dimensionamento de fundações profundas / Amanda Cristina da Silva, Rodrigo de Oliveira Calado. Juiz de Fora 2019.

Nº folhas: 74

Monografia (Curso de Engenharia Civil) - Faculdade Doctum - Juiz de Fora - MG

1. Bacharel em Engenharia Civil I. Desenvolvimento de plataforma digital para dimensionamento de fundações profundas. II Faculdade Doctum Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por sempre estar presente em tudo na minha vida, e ser o caminho que me leva a felicidade, ao Ministério Universidades Renovadas e o GOU da Doctum por me fazer enxergar que mesmo quando o caminho parece oposto a Deus, sempre tem algo e alguém que te faça voltar novamente ao primeiro amor, agradecer a esses “Luquinha” ou “louquinhas” que é possível sim, levar a todos a palavra de Deus, unindo sempre a Fé e a razão.

Não posso deixar nunca de agradecer ao meu pai e minha mãe, Heliton e Isabel, que se não fosse por incentivo deles e por todo esforço e dedicação dos dois, eu não estaria aqui cursando uma faculdade e fazendo um TCC tão importante, obrigada por sempre ser meu alicerce e por sempre me mostrarem que posso alcançar todos os meus objetivos basta querer e correr atrás.

Agradecer a minha família e amigos que sempre me apoiaram nessa decisão e que sempre compreenderam as minhas faltas e ausências devido ao esforço da faculdade, agradecer ao meu Tio Homero que foi o principal incentivador do meu curso, sei que lá no céu você está orgulhoso de mim, e que estará sempre me apoiando.

Agradecer a todos que estão orgulhosos e que ajudaram ao longo desses cinco anos.

Por tudo que vivi, obrigada! Por tudo que viverei, sim! Pé na caminhada.

Amanda Cristina da Silva

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que me concedeu força física e espiritual pra vencer esta etapa da minha vida, que sem ele nada disso seria possível.

Agradeço a minha mãe e meu pai, Teresinha e Antonio, que se dedicaram a me ensinar desde a infância a enfrentar a vida de uma maneira digna, e que sempre me deram apoio durante o curso.

Em especial a minha esposa Dayane que esteve sempre junto comigo, me dando incentivos para continuar e não desistir do meu sonho.

Aos meus filhos Julia e Eduardo que em muitos momentos tive que me privar de nossas brincadeiras e diversões, e apesar da pouca idade, eles sempre me compreenderam vendo todo o sacrifício que passei.

Agradeço também a Priscila, minha irmã, que me ajudou nas horas que eu mais precisei, e meu irmão Wilson.

Agradeço a todos meus familiares que de alguma forma me deram apoio.

Ao meu orientador e Professor Me. Wellington Coutinho, que me chamou a atenção e me deu conselhos, para que este trabalho fosse concluído.

Agradeço ao professor Douglas Seiberlich, que sempre esteve disposto a me ajudar quando eu precisei, e a todos os professores, que de alguma forma, fizeram parte da minha formação acadêmica.

E ao meu Pastor e irmãos em cristo da Igreja Crista Maranata, que sempre estiveram orando por mim e me dando palavras de incentivo para não desistir, obrigado por tudo, vocês foram e sempre serão importantes na minha vida.

E por fim, agradeço a todos que compreenderam a minha ausência em vários momentos nesses últimos cinco anos, mas foi necessário para a realização de um sonho, obrigado a todos.

“Esperei com paciência no Senhor, e ele se inclinou para mim, e ouviu o meu clamor”. Salmos 40:1.

Rodrigo de Oliveira Calado

RESUMO

Silva, Amanda Cristina; Calado, Rodrigo de Oliveira. **Desenvolvimento de plataforma digital para dimensionamento de fundações profundas.** 73f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2019.

O presente trabalho foi desenvolvido a partir da criação de uma ferramenta computacional elaborada para auxiliar o dimensionamento e verificação de fundações profundas, cujas funções são limitadas a dimensionar bloco de coroamento sobre estacas, não abordando todos os tipos de fundações profundas, uma vez que são bastante abrangentes, não sendo possível se esgotarem neste estudo. Para desenvolver esse programa foi utilizado o software *Microsoft Excel* com linguagem *Visual Basic for Application (VBA)*. Na ausência de *softwares* desenvolvidos para dimensionamento de bloco de coroamento sobre estacas, tais como Eberick, CypeCad ou TQS, o programa, que foi nomeado W.&.ARC facilitará esta tarefa para o engenheiro projetista. Os *softwares* supracitados abrangem cálculos detalhados de toda a estrutura. Entretanto, têm alto custo de aquisição, além de exigir conhecimentos específicos para domínio das suas funções. Já a ferramenta proposta neste trabalho poderá ser acessada de forma ágil e gratuita pelo usuário, dispensando a necessidade de conhecimentos complexos em computação, bastando dominar as funções básicas do *Excel*. A agilidade na finalização da tarefa é outro aspecto positivo do programa, principalmente quando se comparado com o cálculo teórico, uma vez que a praticidade do seu uso gera economia de tempo e minimiza a possibilidade de erros de dimensionamento, otimizando o tempo de obra, o que gera satisfação para o cliente. Os cálculos reais elaborados neste trabalho, comparando os resultados obtidos no programa e no método teórico, corroboram para dirimir dúvidas quanto à eficiência do W.&.ARC.

Palavras-chave: Fundação profunda; dimensionamento; Bloco de coroamento sobre estacas.

ABSTRACT

Silva, Amanda Cristina; Calado, Rodrigo de Oliveira; **Development of a digital platform for dimensioning deep foundations.** 68f. Course Completion Monograph (Undergraduate Degree in Civil Engineering). Faculty Doctum, Juiz de Fora, 2019.

The present work was developed from the creation of a computational tool designed to assist in the design and verification of deep foundations, whose functions are limited to the design of crown blocks in stacks, not addressing all types of deep foundations, since they are quite comprehensive and can not be exhausted in this study. To develop this program was used Microsoft Excel software with Visual Basic for Application (VBA) language. In the absence of software designed to design crown pilot blocks such as Eberick, CypeCad or TQS, the program, which was named (W.&.ARC)- initials of the names of the authors of this work - will facilitate this task for the designer engineer. . The aforementioned softwares include detailed calculations of the entire structure. However, they have a high acquisition cost and require specific knowledge to master their functions. The tool proposed in this work can be accessed quickly and freely by the user, avoiding the need for complex computer skills, simply by mastering the basic functions of Excel. The agility in performing the task is another positive aspect of the program, especially when compared to the theoretical calculation, since the practicality of its use generates time savings and minimizes the possibility of design errors, optimizing the construction time, which generates satisfaction of the customer. . The actual calculations elaborated in this work, comparing the results obtained in the program and in the theoretical method, corroborate to clarify doubts as to the efficiency of W.&.ARC.

KEYWORDS: deep foundation; sizing; Crowning block in stacks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo ilustrativo de fundação profunda	19
Figura 2 - Efeitos da execução de estacas escavadas sobre o terreno	22
Figura 3 - Estaca Franki	23
Figura 4 - Estaca Strauss	24
Figura 5 - Estaca hélice contínua	25
Figura 6 - Estaca Raiz	26
Figura 7 - Fundação Profunda.....	27
Figura 8 - Modos de suspensão e içamento mais comuns	29
Figura 9 - Ilustração das estacas pré moldadas (a) soldadas e (b) apenas encaixadas	33
Figura 10 - Esquema de forças no bloco sobre duas estacas.....	36
Figura 11 - Polígono de forças no bloco sobre duas estacas.....	35
Figura 12 - Área da biela de concreto comprimido	39
Figura 13 - Esquema de forças no bloco sobre quatro estacas.	40
Figura 14 - Possíveis detalhamentos da armadura principal no bloco sobre quatro estacas.....	42
Figura 15 - Modelos de blocos sobre quatro estacas.....	43
Figura 16 - Bloco sobre quatro estacas com armadura principal na direção das diagonais.....	44
Figura 17 - Bloco sobre quatro estacas com armadura principal disposta nos lados e nas diagonais	45
Figura 18 - Bloco sobre quatro estacas com armadura principal na direção paralela aos lados do bloco	46
Figura 19 - Bloco de coroamento de duas estacas	47
Figura 20 - Bloco de coroamento de duas estacas	52
Figura 21 - Bloco de coroamento de duas estacas	53
Figura 22 - Bloco de coroamento de quatro estacas	58
Figura 23 - Tela inicial do W.&.ARC.....	59
Figura 24 - Tela Definir o Número de Estacas no W.&.ARC	60
Figura 25 - Tela Inserir Dados para Cálculo no W.&.ARC	61
Figura 26 - Tela Informações dos Dados Calculados peloW.&.ARC.....	62

Figura 27 - Tela Projeto e Valor do Bloco Calculado pelo W.&.ARC.....	62
Figura 28 - Tela Inicial do W.&.ARC	63
Figura 29 - Tela Definir o Número de Estacas no W.&.ARC	64
Figura 30 - Tela Inserir Dados para Cálculo no W.&.ARC	65
Figura 31 - Tela Informações dos Dados Calculados pelo W.&.ARC.....	66
Figura 32 - Tela Projeto e Valor do Bloco Calculado pelo W.&.ARC.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de estaca.....	21
Quadro 2 - Descrição dos tipos de estacas mais usuais e suas cargas de trabalho.	31
Quadro 3 - Valor para o bloco de duas estacas	52
Quadro 4 - Valor para o bloco de quatro estacas.....	57
Quadro 5 - Valor Obtido por pesquisa na Tabela SINAPI	67
Quadro 6 - Análise dos valores para o bloco de duas estacas	68
Quadro 7 - Análise dos valores para o bloco de quatro estacas	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil;
VBA	Visual Basic For Application;
NBR	Norma Brasileira;
ABNT	Associação de Normas Técnicas;
SPT	Ensaio de Sondagem à Percussão;
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil;
VBA	Visual Basic For Application;
NBR	Norma Brasileira;
ABNT	Associação de Normas Técnicas;
SPT	Ensaio de Sondagem à Percussão;
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil;
VBA	Visual Basic For Application;
NBR	Norma Brasileira;

LISTA DE SOFTWARES UTILIZADOS

MICROSOFT EXCEL 2010 (Copyright © 2010 Microsoft Corporation).

LISTA DE SÍMBOLOS

a_{est}	Área da estaca;
a_0	Maior lado do pilar;
a_p	Área do pilar;
A_b	Área da biela comprimida de concreto;
A_p	Área do pilar;
A_e	Área da estaca;
$A_{s,diag}$	Área de aço da armadura principal diagonal;
$A_{s,lado}$	Área de aço paralela a cada lado;
$A_{s,malha}$	Área de aço da malha;
$A_{s,sup}$	Área de aço da armadura superior;
$A_{s,total}$	Área de aço total;
$A_{s,aço,adot}$	Área do aço adotado;
$A_{s,pele}$	Área de aço da armadura de Pele;
b_0	Menor lado do pilar;
$C_{tot.aço}$	Comprimento total do aço;
$C_{omp.}$	Comprimento da armadura;
d_{min}	Altura útil mínima do bloco;
$d_{máx}$	Altura útil máxima do bloco;
d	Altura útil do bloco;
d'	Altura;
$E_{sp.}$	Espaçamento entre a armadura;
e	Espaçamento entre estacas;
F_{ck}	Resistência característica do concreto a compressão;
F_{ctd}	Resistência de cálculo à tração do concreto;
F_{bd}	Tensão resistente de aderência da barra;
F	Força;
F_{sd}	Força normal de cálculo;
F_{yd}	Tensão de cálculo de escoamento do aço;
h	Altura do bloco;
l_b	Comprimento de ancoragem básico, definido no item 9.4.2.4 da norma;
N	Força aplicada no bloco;

$N^{\circ}_{\text{barras}}$	Número de Barras;
pil	Pilar;
R_s	Força de tração na direção das diagonais;
R_C	Força de compressão na biela comprimida;
R'_s	Força de tração paralela aos lados do bloco;
sen	Seno;
tan	Tangente;
tg^{-1}	Arco tangente;
$V_{\text{conc.}}$	Volume do concreto;
V_{solo}	Volume do solo;
α	Alfa;
\emptyset	Diâmetro;
\emptyset_{est}	Diâmetro da estaca;
\emptyset_p	Diâmetro do aço do pilar;
μ	Distância da estaca à face do bloco;
$\%$	Porcentagem;
π	Pi;
Σ	Somatório;
$\sigma_{\text{cd,b,lim}}$	Tensão limite;
$\sigma_{\text{cd,b,lim,pil}}$	Tensão limite junto ao pilar;
$\sigma_{\text{cd,b,lim,est}}$	Tensão limite junto a estaca;
σ	Tensão;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	16
Objetivo geral	16
Objetivos específicos	17
1.2 Justificativa.....	17
1.3 Metodologia.	17
2. Tipos de Fundações.....	19
2.1 Fundações Profundas.....	19
2.1.1 Estacas.....	20
2.1.1.1 Estacas escavadas e moldadas in loco.....	21
2.1.1.1.1 Estacas tipo Franki.....	23
2.1.1.1.2 Estacas Strauss.....	24
2.1.1.1.3 Hélice Continua	25
2.1.1.1.4 Raiz.....	26
2.1.1.2 Estacas Pré-Moldadas	27
2.1.1.2.1 Estacas de Concreto Protendido	28
2.1.1.2.2 Manipulação e Estocagem de Estacas	28
2.1.1.2.3 Dimensões e cargas admissíveis.....	31
2.1.1.2.4 Cravação de estacas pré-moldadas.....	32
2.1.1.2.5 Emendas de estacas pré moldadass	32
2.1.2 Bloco de coroamento de estacas	34
2.1.2.1 Bloco Rígidos	34
2.1.2.1.1 Bloco sobre duas estacas	35
2.1.2.1.2 Bloco sobre quatro estacas	40
3. Dimensionamento de Blocos de Coroamento de Estacas	48
3.1 Dimensionamento bloco de coroamento sobre duas estacas	48
3.1.2 Dimensionamento de bloco de coroamento sobre quatro estacas	53
3.2 Dimensionamento de Bloco de Estaca através do programa W.&.ARC.....	59
3.2.1 Dimensionamento bloco de coroamento sobre duas estacas	60
3.2.2 Dimensionamento bloco de coroamento sobre quatro estacas	64
4. Análise e validação dos resultados obtidos	68
5. Considerações Finais	71
6. Referências Bibliográficas	72

1. INTRODUÇÃO

As fundações são de extrema importância no processo de construção de uma determinada edificação. O termo fundação é definido por Pereira (2018) como “[...] elementos que têm por finalidade transmitir as cargas de uma edificação para as camadas resistentes do solo sem provocar ruptura do terreno de fundação”. A etapa inicial se dá pela sondagem do terreno onde será realizada a construção.

Primeiramente, é necessário analisar todos os critérios técnicos locais através de um estudo de caso a fim de determinar o tipo de fundação a ser empregado em determinado projeto.

De acordo com Pereira (2013), as fundações podem ser classificadas em: profundas e superficiais, diretas e indiretas, adequando-se ao tipo de solo. As fundações profundas indiretas compreendem diversos tipos de estacas e tubulões. Já as superficiais constituem-se em sapatas que recebem a carga da superestrutura e a descarrega no solo.

O trabalho em questão abrange um estudo mais detalhado em fundações profundas, com ênfase no desenvolvimento de uma ferramenta digital para dimensionamento de bloco de coroamento de estacas.

1.1 Objetivo

Objetivo Geral

O presente trabalho visa desenvolver uma ferramenta (software acadêmico) para auxiliar no dimensionamento e conferência de cálculos de fundações profundas (blocos de estacas), utilizando o Microsoft Excel e VBA, e comparar quantitativos e custo obtidos através do dimensionamento realizado através da planilha e através de método teórico.

Objetivos Específicos

- Modelar uma planilha para dimensionamento de blocos de coroamento de estacas;
- Fazer uma análise comparativa entre os resultados obtidos pela planilha de dimensionamento e por métodos teóricos.
- Analisar o custo (valores obtidos na tabela do SINAPI) do bloco calculado no programa com o teórico.

1.2 Justificativa

O trabalho de conclusão de curso a ser desenvolvido constitui-se em uma complementação e continuidade à pesquisa previamente realizada por Guedes, Martins e Diniz (2017), na qual foi criada uma ferramenta nos *softwares* Microsoft Office Excel e Visual Basic for Application (VBA) para auxiliar engenheiros e estudantes da engenharia civil que não possuam programas específicos de dimensionamento de fundações, tais como Eberick, CypeCAD ou TQS que, em sua maioria, têm alto custo de aquisição, e alta complexidade para execução dos cálculos.

Com isso, no decorrer do trabalho, serão abordados exemplos e cálculos de fundações profundas. Entretanto, a ferramenta mencionada não contemplou o dimensionamento de bloco de estacas.

A ferramenta será desenvolvida a fim de possibilitar sua execução por usuários leigos no que se refere à programação, por meio de campos específicos para inserção das informações necessárias para a realização dos cálculos. Desta forma, será possível verificar se o cálculo proposto atende às necessidades do projeto, bem como qual a melhor opção para cada tipo de terreno e de solo.

1.3 Metodologia

O presente trabalho é baseado em uma vasta pesquisa bibliográfica em artigos, livros e Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC), dentre os quais foi identificada a possibilidade de dar continuidade ao TCC elaborado por Guedes, Martins e Diniz

(2017), no qual foi proposta a elaboração de uma ferramenta de cálculos com ênfase nas fundações rasas.

Como complementação ao trabalho supracitado, os exercícios a serem desenvolvidos abordarão o dimensionamento de projetos para fundações profundas gerando economia financeira, devido à otimização do tempo devido a redução dos erros de cálculo, à agilidade no dimensionamento das estruturas, mesmo em canteiro de obras, pois é possível realizar cálculos específicos de partes de superestrutura, diferente de outros programas que precisam lançar toda a superestrutura para o seu dimensionamento, e porque não será necessária a aquisição de programas específicos para tal finalidade e em decorrência da otimização do tempo, devido a redução dos erros de cálculo.

Assim, tal ferramenta será viabilizada pelos programas Excel e VBA. A associação do Excel, um programa com diversas funcionalidades e formas de elaboração de diferentes tabelas, à linguagem VBA possibilita aprimorar ainda mais a ferramenta, além de demonstrar grande capacidade de cálculo e facilidade de ser manejado.

Com ela, será possível realizar o cálculo da seguinte fundação: bloco de coroamento sobre estacas, podendo ser dimensionado inclusive blocos com mais de seis estacas.

A versão deste programa permitirá a realização de comparações entre vários sistemas construtivos disponíveis e a escolha do que melhor se adequa à necessidade do projeto, de forma rápida e simples. A ferramenta poderá ainda ser explorada por estudantes e pesquisadores da Engenharia Civil.

Com isso, no trabalho será apresentado um resumo histórico sobre o assunto e a caracterização das fundações mais utilizadas. Em sequência, serão elencados exemplos de dimensionamentos de fundações profundas para efeito de comparação com os resultados obtidos e, por fim, serão dispostas as ferramentas desenvolvidas e um tutorial para sua utilização, visando facilitar ainda mais o seu uso. Desse modo, mesmo o usuário que possua pouca familiaridade com o programa conseguirá concluir sua atividade.

2. TIPOS DE FUNDAÇÕES

Nesse capítulo serão estudadas as fundações profundas, a explicação teórica de cada estaca, a estocagem e o armazenamento, as principais especificações e como deverão ser realizados os cálculos para dimensionamento do bloco de coroamento de estacas.

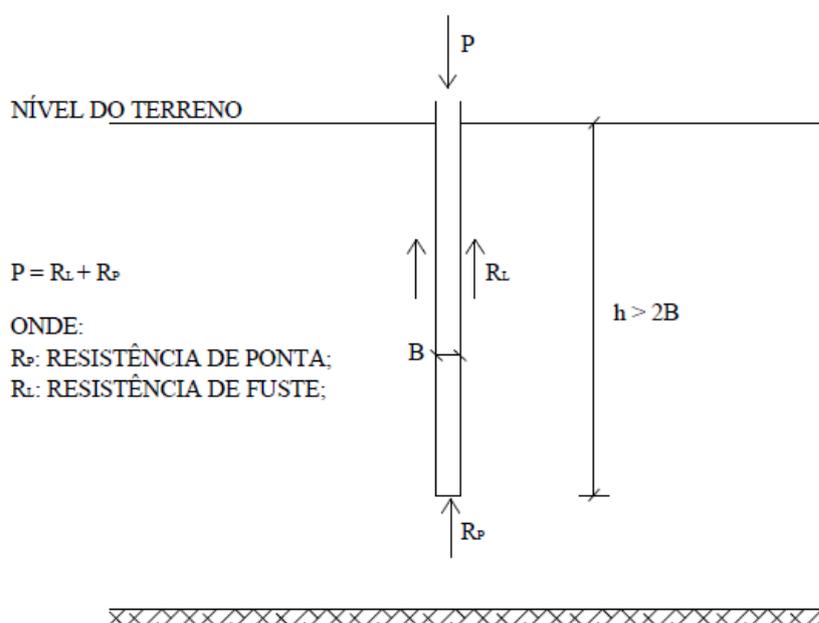
2.1 Fundações Profundas

A NBR 6122 (ABNT, 2010) enquadra como elementos da fundação profunda os tubulões e as estacas, e define-se fundação profunda como:

Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m.

A figura 1 a seguir, é um exemplo ilustrativo sobre como são distribuídas as cargas na fundação profunda.

Figura 1 – Exemplo ilustrativo de fundação profunda.



Fonte: Vasconcellos (2017).

Conforme a NBR 6122 (ABNT, 2010), essas fundações são empregadas em casos em que solos superficiais não têm a capacidade de suportar cargas expressivas ou quando estão sujeitos a processos erosivos, ou ainda quando há a possibilidade de uma futura escavação próxima à construção.

De acordo com a norma técnica, no país são reconhecidas as execuções dos seguintes tipos de estacas: madeira, concreto pré-moldado e aço cravados (prensagem, vibração ou por percussão), estaca tipo Strauss e tipo Franki, estaca escavada (sem revestimento, com revestimento de aço – provisório ou perdido – e com escavação estabilizada por fluido), estaca raiz, microestaca injetada, além da estaca hélice (VELLOSO & LOPES, 2011; PEREIRA, 2018; PIRES, 2018).

Quanto ao tubulão e à estaca, o que os difere é que no primeiro caso, é preciso a descida de um profissional na etapa final do processo para o alargamento da base ou limpeza do fundo da escavação. Enquanto isso, em relação às estacas, é utilizado exclusivamente equipamentos ou ferramentas especializadas, e não há necessidade da descida de um operário em qualquer fase da execução (BRASIL, 2010; BEIFULSS, 2012; COSTA, 2016).

2.1.1 Estacas

As estacas são classificadas a partir de diferentes critérios, e estão ilustradas no Quadro 1. Primeiramente, com base no material, elas podem ser: (i) de madeira, (ii) de concreto, (iii) de aço e (iv) mistas. Já de acordo com o processo executivo, a classificação é baseada com o efeito no solo ou o tipo de deslocamento causada pela execução, podendo ser (VELLOSO & LOPES, 2011; ALMEIDA, 2016).

- de deslocamento, no caso de estacas cravadas, uma vez que o solo se desloca horizontalmente do local em que a estaca irá ocupar;
- sem deslocamento, que ocorre em casos de estacas escavadas, em que praticamente não há remoção de solo e/ou quando são estabelecidas as medidas para recompor as tensões geostáticas na concretagem;
- de substituição, relacionada a estacas escavadas em geral, em que o solo é removido do local a ser ocupado pela estaca e provoca algum nível de redução nas tensões horizontais geostáticas.

Quadro 1 – Tipos de estacas

Tipo de execução		Estacas
De deslocamento	Grande	(i) Madeira
		(ii) pré-moldadas de concreto
		(iii) tubos de aço de ponta fechada
		(iv) tipo Franki
		(v) microestacas injetadas
	Pequeno	(i) Perfis de aço
		(ii) tubos de aço de ponta aberta (desde que não haja embuchamento na cravação)
		(iii) estacas hélice especiais ("estacas hélice de deslocamento")
	Sem deslocamento	
(ii) estacas raiz		
De substituição		(i) Escavadas sem revestimento ou com uso de lama
		(ii) tipo Strauss
		(iii) estacas hélice contínua em geral

Fonte: Adaptado de Velloso & Lopes (2011).

2.1.1.1 Estacas escavadas e moldadas in loco

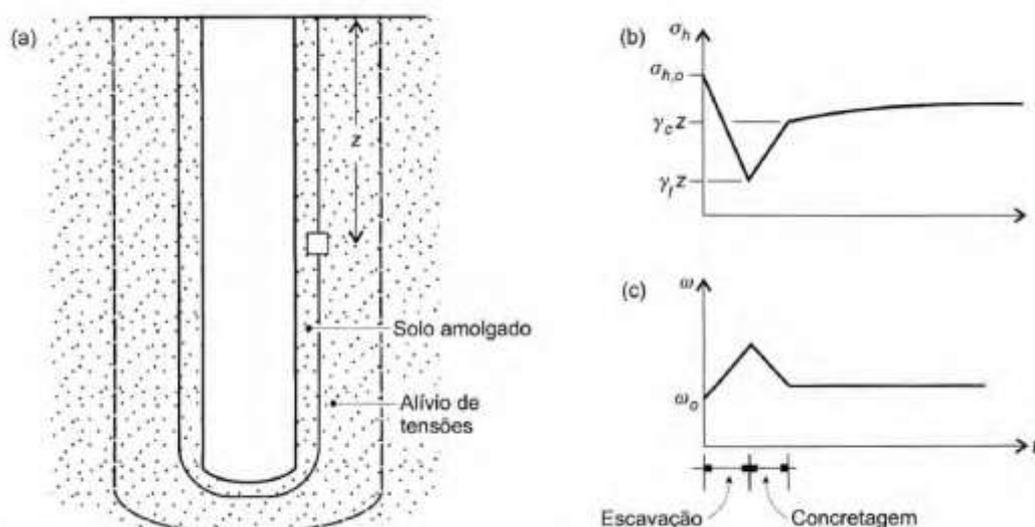
Considerando a utilização de estacas escavadas, deve-se ressaltar que pode haver uma possível descompressão do terreno, cuja variação se dará de acordo com o tipo de suporte. Em um extremo, estariam as estacas escavadas sem suporte, mas a descompressão pode ser expressiva, o que só será possível em solos com certa quantidade de finos e acima do nível d'água. Em outro extremo, estariam as estacas escavadas por meio de camisas metálicas que acompanha a proximidade do nível da ferramenta de escavação, cujo alívio é bastante reduzido. Entre ambos, estariam

as estacas escavadas por meio de fluido ou lama estabilizante (VELLOSO & LOPES, 2011; RESENDE & MARTINS, 2014).

Na Figura 2a estão representados os efeitos da execução de estacas escavada sobre o terreno, a qual se observa uma região amolgada ou plastificada de pequena espessura e uma região maior, onde as tensões são reduzidas (VELLOSO & LOPES, 2011; RESENDE & MARTINS, 2014).

Segundo Veloso e Lopes (2011) e Kroth (2016), vale notar que, como todos os processos que envolvem os solos consideram a migração de água e o comportamento viscoso (creep): este alívio não se processa instantaneamente, pois a decompressão é menor à medida que o tempo avança entre o término da escavação e a concretagem da estaca, o que leva a uma menor deterioração das características do solo. A Figura 2b demonstra a evolução das tensões horizontais e da umidade em relação ao tempo, considerando a estaca escavada com auxílio de lama. Na etapa de escavação, as tensões horizontais são reduzidas ao empuxo da lama (γ_l é o peso específico da lama). Após o momento da concretagem, isso ocorre devido ao empuxo do concreto fresco (γ_c representa o peso específico do concreto fresco) e, com o tempo, tais tensões podem crescer ligeiramente. A Figura abaixo revela que, quanto menos tempo a escavação estiver aberta, menos expressivo será o aumento de umidade do solo.

Figura 2 – a) Efeitos da execução de estacas escavada sobre o terreno; (b) tensões horizontais; (c) umidade - junta ao fuste – em relação ao tempo considerando a estaca escavada com lama.

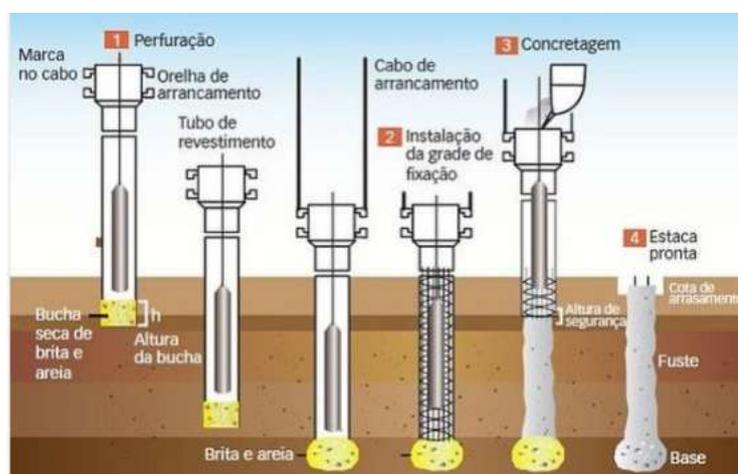


Fonte: Velloso & Lopes (2011).

2.1.1.1.1 Estacas tipo Franki

O método de estacas tipo Franki vem sendo executado a nível nacional desde a década de 40 e consiste na produção de estacas de concreto armado com base alargada, com tubo que pode ser recuperado a partir de material granular ou concreto após golpeado por um pilão. O método é utilizado quando a camada resistente está em profundidades variáveis, e pode ser ainda considerado em casos de terrenos com pedregulhos ou pequenos matacões (BARROS, 2011; GUEDES et. al, 2017).

Figura 3 – Estaca Franki.



Fonte: Nakamura (2013).

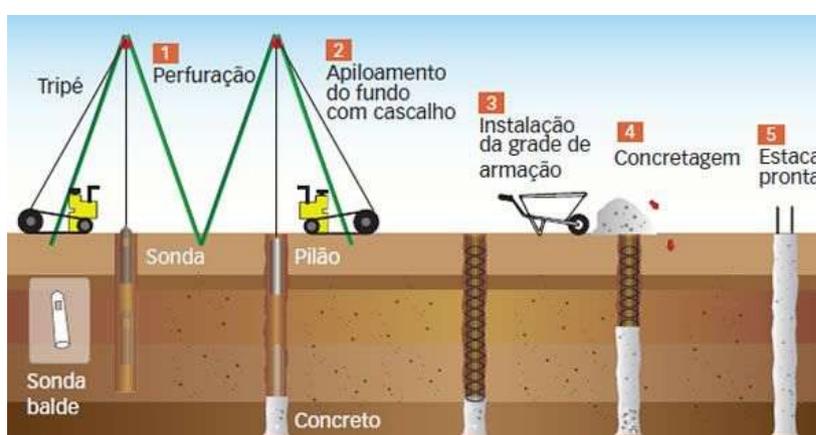
O método tipo Franki permite atingir o comprimento desejado, e é capaz de alcançar inclusive grandes profundidades. A existência da base alargada também favorece a capacidade de carga da estaca (VELLOSO & LOPES, 2011; GEHLEN, 2016).

Como desvantagens, a técnica é limitada em relação à vibração do solo ao longo da execução, o que pode prejudicar construções vizinhas. A cravação pode provocar o levantamento das estacas já instaladas, provocada pelo empolamento do solo que se desloca. Por tais motivos, esse método vem sendo cada vez menos empregado em grandes centros urbanos (JOPPERT JUNIOR, 2007; GEHLEN, 2016).

2.1.1.1.2 Estacas Strauss

As estacas Strauss são executadas por meio de escavação mecânica utilizando balde-sonda ou piteira, com uso total ou parcial de revestimento seguido de concretagem. Elas são moldadas in loco, e apresentam 25 cm a 55 cm de diâmetro. O método é usado em locais onde as vibrações devem ser mínimas e, principalmente, em terrenos confinados, acidentados e interiores de construções existentes com o pé-direito reduzido (PEREIRA, 2013; PIRES, 2018).

Figura 4 – Estaca Strauss.



Fonte: Nakamura (2013).

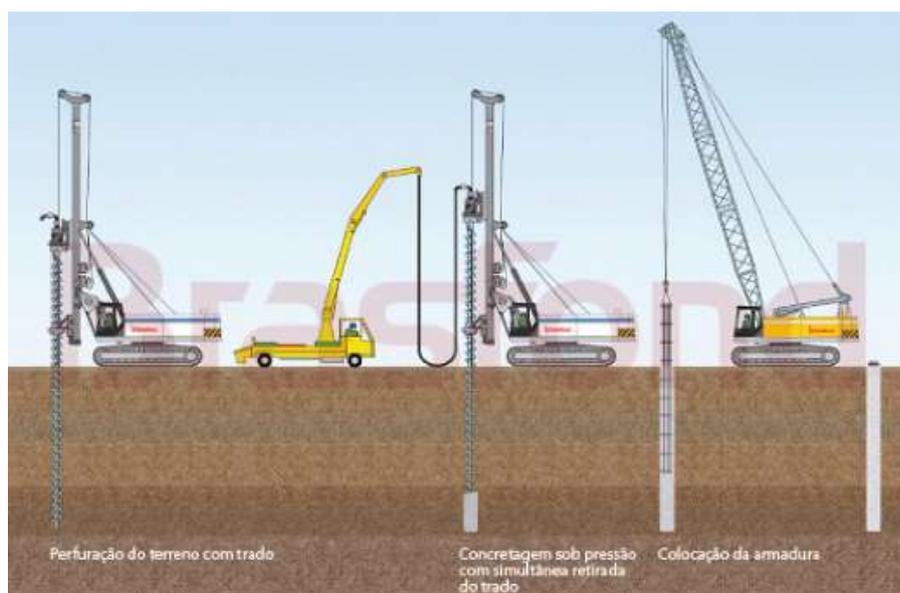
Ainda, segundo Pereira (2013) e Pires (2018), as estacas Strauss apresentam menos capacidade de carga quando comparadas às estacas tipo Franki. Esse método é limitado quanto ao nível do lençol freático, e também é desvantajoso ao considerar escavação de solos moles de areia fofa devido ao estrangulamento do fuste. Porém, o equipamento aqui empregado é leve e de pequeno porte, o que favorece a locomoção dentro da obra e permite a sua montagem em terrenos de pequenas dimensões.

O método consiste inicialmente na abertura de um furo no terreno com um soquete para colocação do primeiro tubo (coroa). Posteriormente, aprofunda-se o furo com golpes de sonda de percussão. À medida que este desce, o tubo seguinte é rosqueado até determinada profundidade. Com isso, procede-se à concretagem e, por fim, são colocadas barras de aço de espiral para ligação com blocos e baldrame na extremidade superior da estaca (BARROS, 1996; COSTA, 2016).

2.1.1.1.3 Hélice Contínua

Essas estacas, altamente utilizadas em áreas urbanas, são obtidas a partir da perfuração do terreno através de um trado helicoidal contínuo, responsável por remover o solo sem desconfinamento (ABNT, 2010; PROBST et. al., 2018). Quando atingida a profundidade ideal, o concreto é bombeado pelo centro do trado, o qual será sacado gradativamente ao bombeamento de concreto (NETO, 2002; PROBST et. al., 2018). A técnica de estaca hélice contínua exige a colocação da armação após a concretagem e ela apresenta instrumento medidor digital de controle da pressão de bombeamento do concreto (VELLOSO & LOPES, 2011; PROBST et. al., 2018).

Figura 5 – Estaca hélice contínua.



Fonte: Nakamura (2013).

A estaca hélice contínua permite ser executada em terrenos coesivos e arenosos, com ou sem a existência de água e com índices de SPT maior que 50 golpes e é recomendada para obras que exigem rapidez, ausência de barulho e de vibrações (FUNDESP, 2006; NETO et. al., 2018). O método é economicamente vantajoso para obras em que há grande número de estacas sem variações de diâmetros.

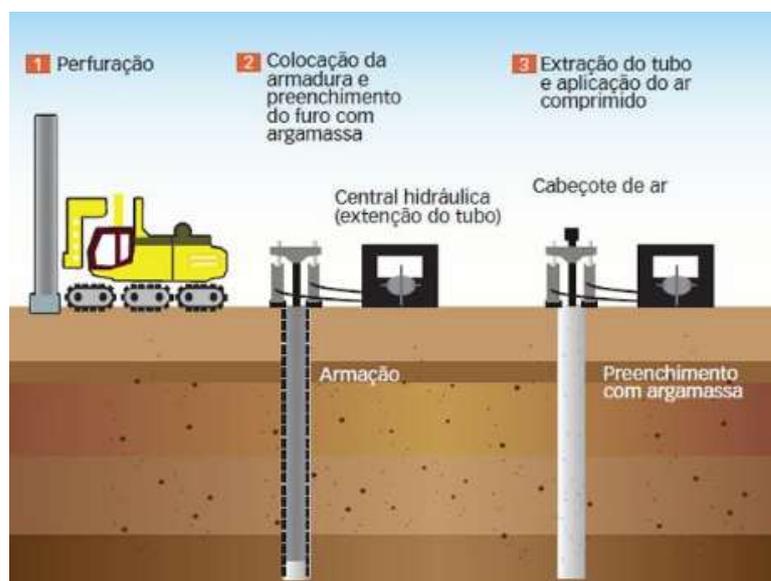
Como desvantagens Antunes et. al. (1998) e Valenzi (2018), a estaca hélice contínua demanda áreas planas e de fácil movimentação devido ao equipamento

utilizado, e sua execução exige uma central de concreto no canteiro de obras, devido a sua alta produtividade.

2.1.1.1.4 Raiz

As estacas raiz são aquelas escavadas com perfuratriz e executadas por meio de equipamento de rotação ou rotopercussão com circulação de água, lama bentonítica ou ar comprimido, e considerando o equipamento, elas podem ser executadas a partir de diferentes ângulos, variando de 0° a 90° na vertical (ABNT, 2010; ABEF, 2012; Stucchi et al., 2014; JESUS, 2017).

Figura 6 – Estaca Raiz.



Fonte: Nakamura (2013).

Primeiramente, o material escavado é constantemente retirado através de uma corrente fluida (água, lama bentonítica ou ar) a qual reflui pelo espaço entre o tubo e o terreno. Após, a armadura é colocada e procede-se à concretagem enquanto o tubo de perfuração é retirado (ABNT, 2010; ABEF, 2012; Stucchi et al., 2014; JESUS, 2017).

Devido a ausência de vibrações e de descompressão, a estaca-raiz é indicada em situações de reforço de fundações, ou em casos de terrenos adjacentes sensíveis a vibrações ou poluição sonora, ou na presença de matacões, rochas e concreto (YAZIGI, 2009; VALENZI, 2018).

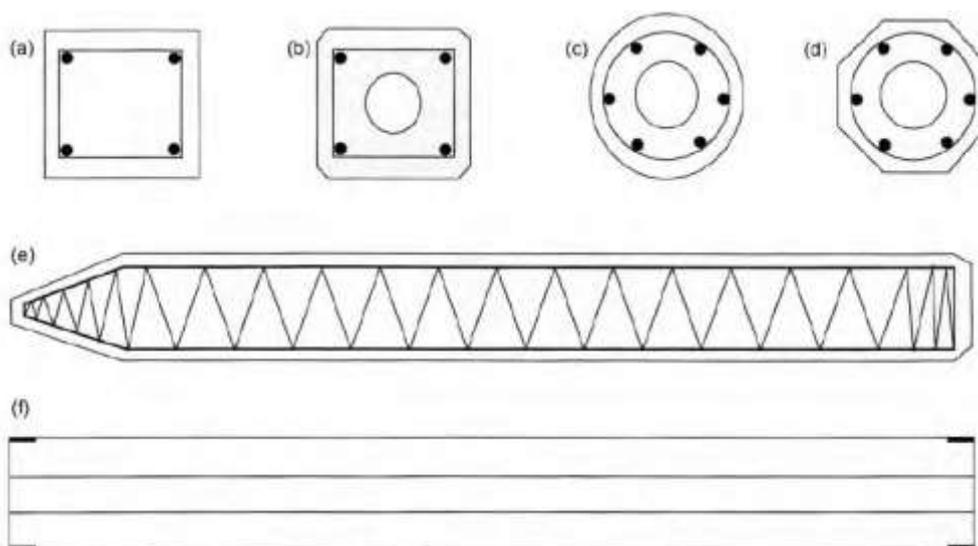
Desenvolvida ao final da década de 50, a estaca-raiz surgiu na Itália e tem como premissa básica o reforço de fundações (STUCCHI et al., 2014; JESUS, 2017). Porém, o desenvolvimento da técnica executiva e dos conhecimentos da mecânica dos solos possibilitou melhorar sua capacidade de carga e a produtividade.

2.1.1.2 Estacas pré-moldadas

De acordo com Velloso e Lopes (2011) e Filho (2016), o concreto apresenta alta resistência aos agentes agressivos, e dentre os materiais de construção, ele é considerado a melhor alternativa para confecção de estacas, pois suporta as variações de secagem e umedecimento. O concreto pode ser executado em estacas de grande e pequena capacidade de carga.

As estacas pré-moldadas podem ser classificadas de acordo com a forma de fabricação, como: (i) concreto armado e (ii) concreto protendido. A figura 7 representa as seções transversais típicas (itens a – d), a seção longitudinal com armadura típica (item e) e o concreto em si (item f) com um furo no centro e anel de emenda (SILVA, 2005; VELLOSO & LOPES, 2011; ALMEIDA, 2018).

Figura 7 – Fundação profunda.



Fonte: Velloso & Lopes (2011).

Como vantagem, pode-se afirmar que as estacas pré-moldadas, durante a pega e a cura do concreto, não sofrem interferência de agentes agressivos, tornando

a qualidade do concreto satisfatória, caracterizado por proporcionar maior segurança na passagem em camadas de solos muito moles, diferente da concretagem in loco, que pode apresentar problemas (VELLOSO & LOPES, 2011; FILHO, 2016). Já as estacas pré-moldadas apresentam como desvantagem a questão do terreno, pois caso não seja feita uma prévia verificação e ele apresente muitas variações em sua camada resistente, poderá ocorrer o corte ou emenda das estacas, o que conseqüentemente acarretará em altos custos de execução.

2.1.1.2.1 Estacas de Concreto Protendido

Esse tipo de estaca é empregado quando há necessidade de grandes cargas e grandes comprimentos, e suas vantagens são (VELLOSO & LOPES, 2011; DEBS, 2017).

- Alta resistência na compressão, flexão transitória e composta, e na tração ocasionada pela cravação;
- Maior aceitação na sua manipulação e cravação com menor fissuração, o que aumenta sua durabilidade;
- Capacidade de suportar altas forças de tração;
- Flexibilidade para atender às solicitações de projetos, sendo adequada a qualquer configuração de seção transversal, maciça ou oca;
- Possibilidade de serem dimensionadas com suas seções transversais em grandes dimensões e comprimentos;
- Caso seja executada com protensão excêntrica, eleva a sua resistência à flexão à projetos específicos.

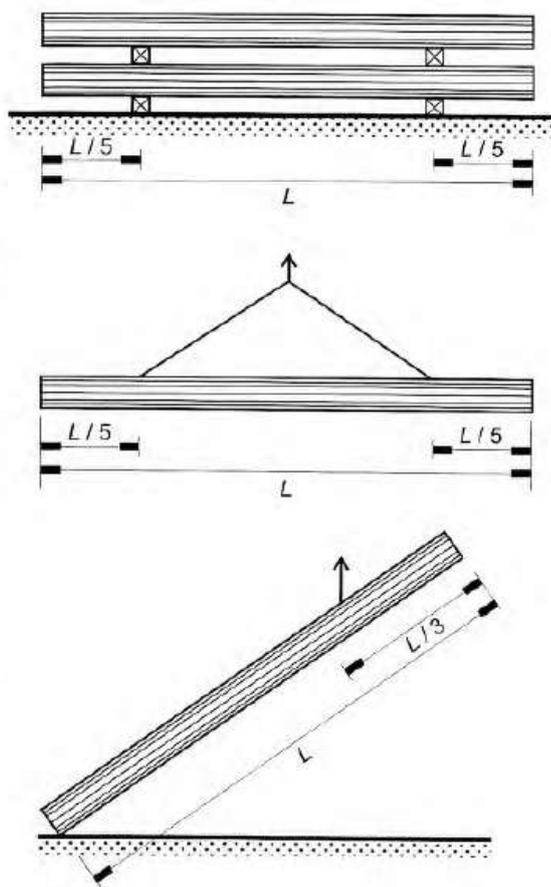
Para rendimento das estacas de acordo com as vantagens acima, é necessário um estudo e uma preocupação com a forma que irá manipular e estocar esse tipo de estaca, conforme a seguir.

2.1.1.2.2 Manipulação e Estocagem de Estacas

Quanto à manipulação e estocagem das estacas, a literatura afirma que é necessário o dimensionamento aos esforços de manipulação e cravação, calculados com base na forma de suspensão da carga, descarga e

estocagem e içamento para a cravação da estaca (VELLOSO & LOPES, 2011; PESSANHA, 2014). Neste sentido, as formas mais utilizadas estão ilustradas na figura 8.

Figura 8 – Modos de suspensão e içamento mais comuns



Fonte: Velloso & Lopes (2011).

De acordo com Velloso e Lopes (2011) e Pessanha (2014), os cuidados relacionados à manipulação e estocagem são abaixo descritos:

1. Descarga: em geral, há duas formas relacionadas ao descarregamento das estacas: descarga manual com o apoio de cordas e pranchas especiais e descarga por meio de guindastes.

a) Descarga manual

Neste caso, as estacas são retiradas uma a uma da carreta de forma organizada, a iniciar pelas laterais mais próximas até a mais afastada utilizando uma alavanca. Assim, cada um desce rolando por pranchas inclinadas, o que possibilita que os ajudantes controlem a descida com cordas que envolvem as estacas.

b) Descarga com Guindaste

Para retirar as estacas da carreta, é preciso prender cada uma em dois pontos, permitindo seu içamento.

2. Estocagem

As estacas devem ser armazenadas em solo firme e plano nos dois casos de descarga, colocadas com a intenção de não provocar impactos, e também não devem ser empilhadas. O solo deve estar livre de lombadas e depressões e, caso contrário, elas devem ser acomodadas sobre dois caibros (Figura 8). Sempre que for utilizado um guindaste, as estacas podem ser empilhadas em no máximo duas camadas.

3. Pontos de suspensão de apoio

A Figura 8 demonstra que, no caso do guindaste, as estacas devem ser suspensas por dois pontos à $1/5 L$ das extremidades. No entanto, é preciso estar atento para que os caibros da segunda camada estejam na mesma prumada dos inferiores.

4. Içamento das estacas

A Figura 8 também ilustra que, ao utilizar um cabo de aço específico, o bate-estaca irá erguer cada estaca à uma distância de $3/10 L$ pela sua

extremidade superior. Neste caso, deve-se ter cautela a fim de evitar que a estaca sofra qualquer tipo de prejuízo provocado por contato com outras estacas.

2.1.1.2.3 Dimensões e cargas admissíveis

Em geral, as estacas pré-moldadas de concreto armado vibrado executadas nos próprios canteiros de obras, segundo Velloso e Lopes (2011) e Faro (2018), apresentam seção transversal quadrada, variando de 20 cm x 20 cm a 40 cm x 40 cm e comprimento de 4 a 8 m. Já as estacas provenientes de fábricas de pré-moldados são feitas para cargas de trabalho maiores e também com maiores comprimentos.

A armadura e a qualidade do concreto são variáveis dependentes das tensões de trabalho das estacas pré-moldadas, além do controle de fabricação e cravação (RICHARDSON, 1991; FAGUNDES, 2016). Com isso, essas tensões variam de 6 Mpa (referente às estacas de concreto armado com controle de fabricação mas sem controle de cravação) a 14 Mpa (relacionada a estacas de concreto protendido com controle rigoroso de fabricação e controle de cravação utilizando ensaios).

No quadro 2, estão descritos diferentes tipos de estacas pré-moldadas e suas respectivas características. Ela pode ser utilizada como parâmetro de pré-seleção de um tipo de estaca para a referida obra (VELLOSO & LOPES, 2011 e FERREIRA & GONÇALVES, 2014).

Quadro 2 – Descrição dos tipos de estacas mais usuais e suas cargas de trabalho.

<i>Tipo de Estaca</i>	<i>Dimensões (cm)</i>	<i>Carga Usual (KN)</i>	<i>Carga Máx. (KN)</i>	<i>Observação</i>
Pré-moldada vibrada, de concreto armado, quadrada maciça $\sigma = 6$ a 10 Mpa	20 x 20	250*	400	Disponíveis até 8 m
	25 x 25	400*	600	
	30 x 30	550*	900	
	35 x 35	750*	1200	
Pré-moldada vibrada,	Ø 22	300	400	Disponíveis até 10 m

de concreto armado, circular com furo central $\sigma = 9$ a 12 Mpa	Ø 25	450	550	Furo central a partir do ø 29 cm
	Ø 29	600	750	
	Ø 33	700	800	
Pré-moldada vibrada, de concreto protendido $\sigma = 10$ a 14 Mpa	Ø 20	300	350	Disponíveis até 12 m Podem ter furo central
	Ø 25	500	600	
	Ø 33	800	900	
Pré-moldada centrifugada, de concreto armado $\sigma = 10$ a 14 Mpa	Ø 20	250	300	Disponíveis até 12 m Com furo central oca e paredes de 6 a 12 cm
	Ø 26	400	500	
	Ø 33	600	750	
	Ø 42	900	1150	
	Ø 50	1300	1600	
	Ø 60	1700	2100	
<i>Notas: σ = tensão de trabalho no concreto; *obras sem controle de cravação por ensaios estáticos ou dinâmicos.</i>				

Fonte: adaptado de Velloso & Lopes (2011).

2.1.1.2.4 Cravação de estacas pré-moldadas

A cravação nas estacas pré-moldadas é de extrema relevância, uma vez que as tensões necessitam estar abaixo dos valores da tensão característica do concreto (o recomendado é que sejam menores que $0,8f_{ck}$). A fim de evitar o esmagamento da cabeça da estaca, é necessário trabalhar com alturas de queda pequenas, não maiores que 1 m, e empregar amortecedores (GONÇALVES, 2007; FAGUNDES, 2016).

Dessa forma, martelos mais pesados, como os de 40 kN, devem ser utilizados quando é preciso cravar a estaca a grandes profundidades ou penetrar camadas resistentes. A norma técnica NBR 6122 (ABNT, 2010), recomenda que o martelo tenha, no mínimo, 70% do peso total da estaca, e ao menos 20 kN.

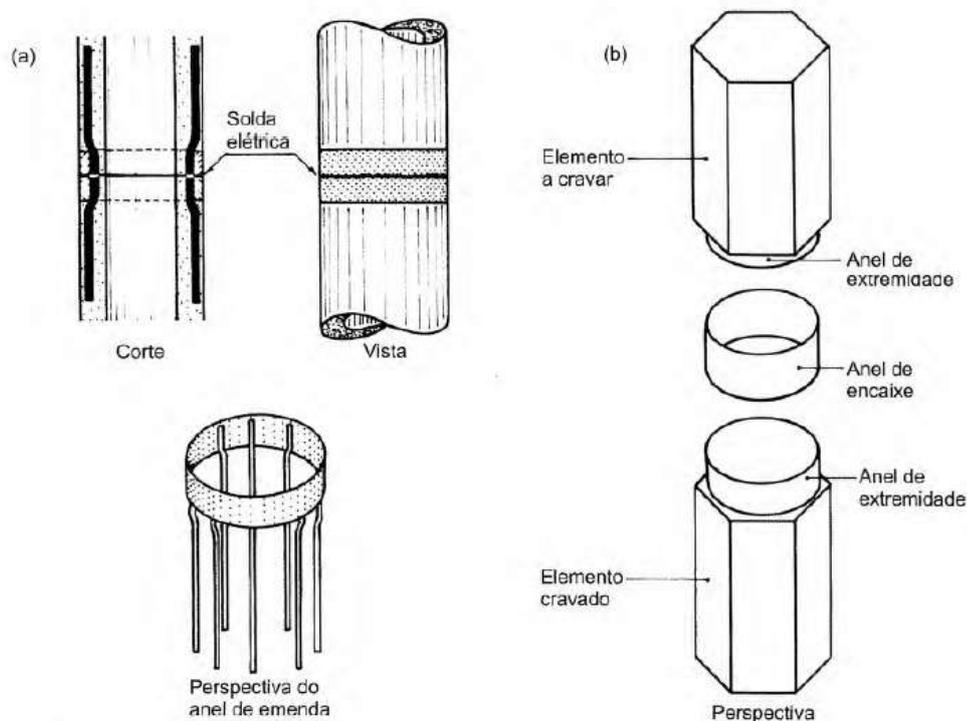
2.1.1.2.5 Emendas de estacas pré-moldadas

Em uma obra com estacas pré-moldadas, é preciso prever uma possível emenda de elementos. As emendadas devem ser feitas de anéis soldados ou outros

dispositivos que permitam a transferência de todas as solicitações que nelas ocorram ao longo da cravação e da utilização da estaca (NBR 6122,2010; CAMARGO, 2016).

A Figura 9a ilustra uma emenda feita soldando-se luvas ou anéis metálicos incorporados ao concreto, a exemplo das estacas produzidas no Brasil, responsáveis por transmitir compressão, tração e flexão. Já as estacas de compressão em serviço e que não atravessam solos moles podem ser emendadas utilizando luva de encaixe (Fig. 9b) (NBR 6122,2010; CAMARGO, 2016).

Figura 9 – Ilustração das estacas pré-moldadas (a) soldadas e (b) apenas encaixadas.



Fonte: Velloso & Lopes (2011).

Especificado pela NBR 6122/2010, a fim de proceder à ligação com o bloco de coroamento, o topo da estaca deve ser preparado, e isso envolve o corte desta na "cota de arrasamento". Neste processo, é preciso preservar o concreto e a armadura no trecho necessário para a ligação.

A penetração do concreto da estaca no bloco deve ser, no mínimo, de 5 cm. Neste sentido, o concreto deve estar íntegro após o corte. A penetração da armadura no bloco depende do tipo de vínculo previamente determinado no projeto como, por exemplo, rótula ou engaste, estaca trabalhando a tração, e detalhes a

respeito da armadura a ser preservada também devem constar no projeto (VELLOSO & LOPES, 2011; FERREIRA & GONÇALVES, 2014).

Ainda segundo Velloso e Lopes (2011) e Ferreira & Gonçalves (2014), deve-se atentar ao fato de que estacas de concreto protendido por cabos de aço, devem apresentar uma armadura convencional ("dura"). Caso contrário, elas não poderão ser utilizadas.

Se após a remoção de concreto comprometido ou após a cravação da estaca o topo desta ficar abaixo a cota de arrasamento, é possível completar a estaca, segundo a NBR 6122 (2010) e Domingueti (2017), com concreto de alta qualidade ou mesmo com argamassa especial.

2.1.2 Bloco de coroamento de estacas

A NBR 6118 (2014) conceitua os Blocos como 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. Após definir as dimensões do pilar e a carga vertical atuante, é possível obter a geometria do bloco e o conjunto de estacas ou tubulões que serão necessários para resistir às ações forças atuantes.

Da mesma forma como ocorre com as sapatas, o comportamento estrutural e dimensionamento são variáveis a depender da rigidez do bloco. Assim, eles podem ser flexíveis ou rígidos. Geralmente, as dimensões em planta dos blocos sobre estacas dependem só da disposição das estacas, e adota-se o menor espaçamento possível entre elas.

De acordo com requisitos estabelecidos, as dimensões dos blocos são minimizadas, o que resulta em blocos rígidos. No entanto, o espaçamento entre as estacas pode ser aumentado, o que leva a um bloco flexível que não será apresentado nesse trabalho.

2.1.2.1 Blocos rígidos

Esses blocos são caracterizados como elementos de alta rigidez, pois não se deformam após atuação da carga vertical dos pilares uma vez que a transferem de forma igual entre as estacas (CUNHA; MOURA, 2018). Afirma-se que os blocos

rígidos de até seis estacas necessitam de dimensionamento estrutural realizado por meio de bielas e tirantes.

Devido a complexidade de elaboração de um modelo de métodos que considerem estas variáveis, o mais comumente utilizado neste caso é o dimensionamento estrutural de acordo com o CEB-70. A NBR 6118 estabelece que seja considerados rígidos os blocos que apresentam a seguinte relação de altura, considerando a uma das dimensões do bloco, a_0 a dimensão do pilar na mesma direção e h sendo a altura.

$$h \geq \frac{a - a_0}{3} \quad (2.1)$$

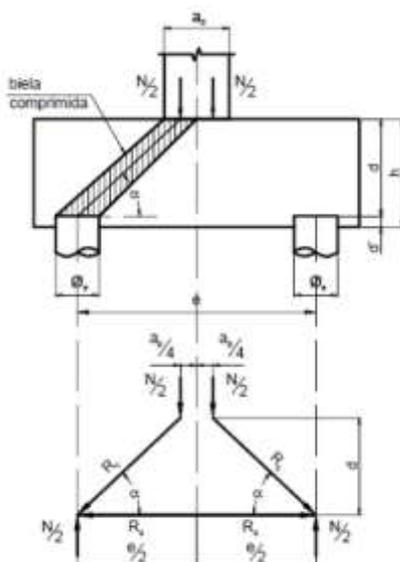
De acordo com a literatura, enquadrar o bloco em tal condição equivale a (CARVALHO & PINHEIRO, 2009): Sendo α o ângulo.

$$\tan \alpha = \frac{h}{\frac{a - a_0}{2}} = \frac{\frac{a - a_0}{3}}{\frac{a - a_0}{2}} = \alpha \geq 33,6^\circ \quad (2.2)$$

2.1.2.1.1 Bloco sobre duas estacas

Com a possibilidade de se visualizar a treliça idealizada da amostra de bielas e tirantes (amostra proposta por Blévot (2018), sem a aparência com 96 nós), para os blocos de coroamentos sobre duas estacas, à vista disso, analisa-se como treliça plana. Na figura 10 visualiza-se a forma de forças presentes no bloco sobre duas estacas e a biela de concreto comprimido.

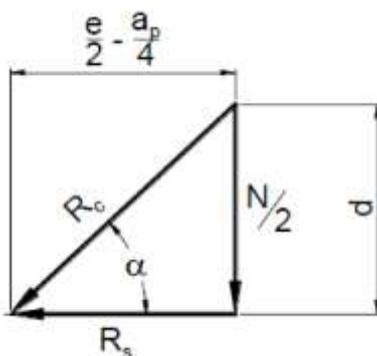
Figura 10 – Esquema de forças no bloco sobre duas estacas.



Fonte: Bastos (2017).

Por meio de uma análise do polígono de forças presentes no bloco, definem-se as equações:

Figura 11 – Polígono de forças no bloco sobre duas estacas.



Fonte: Bastos (2017).

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{N/2}{R_s} \quad (2.3)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{\frac{e}{2} - \frac{a_p}{4}} \quad (2.4)$$

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{N/2}{R_c} \quad (2.5)$$

Onde:

N; força aplicada no bloco

Rs; força de tração na direção das diagonais

d; altura útil do bloco

e; espaçamento entre estacas

ap; área do pilar

Rc ; força de compressão na biela comprimida

No qual d é considerada o comprimento da cabeça da estaca até a parte superior do bloco de concreto.

Equiparando as eq. 3 e eq. 4 e definindo uma combinação para o isolamento da incógnita Rs, conclui-se:

$$R_s = \frac{N}{8} \cdot \frac{2 \cdot e - a_p}{d} \quad (2.6)$$

Para um critério semelhante, isolando Rc na eq. 5, obtém-se:

$$R_c = \frac{N}{2 \cdot \sin \alpha} \quad (2.7)$$

• Altura útil (d)

Essa altura, é definida com relação ao ângulo α (alfa), ângulo existente entre o tirante (ou armadura de tração) e a biela de concreto comprimido, disposto longitudinalmente. Para que não haja ameaça de ruptura no bloco de coroamento, limita-se esse ângulo entre 45° e 55° , de acordo com Machado (1985) e Carvalho e Pinheiro (2009), já a NBR 6118:2014, item 22.3.1 apresenta que “[...] biela inclinada deve ter o ângulo de inclinação cuja tangente esteja entre 0,57 e 2 em relação ao eixo da armadura longitudinal do elemento estrutural”, porém, será adotado no presente trabalho o ângulo α conforme indicado por Carvalho e Pinheiro (2009), desse modo, $45^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$.

Inserindo o intervalo de α na eq. 2.4, conforme informado acima, obtém-se:

$$\frac{1}{2} \cdot \left(e - \frac{a_p}{2} \right) \leq d \leq 0,714 \cdot \left(e - \frac{a_p}{2} \right) \quad (2.8)$$

De acordo com a NBR 6118:2014, “O bloco deve ter altura suficiente para permitir a ancoragem da armadura de arranque dos pilares. Nessa ancoragem pode-se considerar o efeito favorável da compressão transversal às barras decorrente da flexão do bloco”. Visando isto, o valor de d tem a necessidade de ser dimensionado com seu tamanho maior do calculado para a ancoragem do pilar $l_{b, \emptyset, pil}$, de acordo com a equação (2.9):

$$d > l_{b, \emptyset, pil} \quad (2.9)$$

Conforme a NBR 6118:2014 itens 9.4.2.4 e 9.4.2.5, $l_{b, \emptyset, pil}$ é a altura necessária para ancoragem do pilar no bloco.

Após a conclusão do dimensionamento da altura útil do bloco, será feito o dimensionamento da altura h . Para isso, soma-se a altura útil d com a altura d' , que se refere ao cobrimento armadura principal da ponta da estaca que esta embutida no bloco. Segundo a NBR 6118:2014 tabela 7.2, podemos adotar o valor de 3 à 5 cm para o cobrimento. Porém como Bastos (2017) afirma que d' deve ser dimensionado analogamente com o diâmetro da estaca, portanto temos que:

$$d' \geq \begin{cases} 5\text{cm} \\ a_{est}/5 \end{cases} \quad (2.10)$$

Sendo que a_{est} se refere um lado da estaca quadrada, igual à área de uma estaca circular, logo, $a_{est} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \times \emptyset_e$, definindo assim que $h = d + d'$.

- Conferencia das bielas comprimidas de concreto

Com o intuito de impedir o esmagamento do concreto nas bielas comprimidas, é feito uma conferencia. As tensões presentes devem ser menores que as tensões resistentes (máximas ou últimas), para que esta conferencia seja atendida.

De acordo com Bastos (2017), análises feitas em modelos mínimos e blocos com dimensões comuns, foi notado que a tensão resistente de compressão no concreto, apresentou um valor de aproximadamente 40% superior à prevista. Logo, Blévoit definiu a tensão limite:

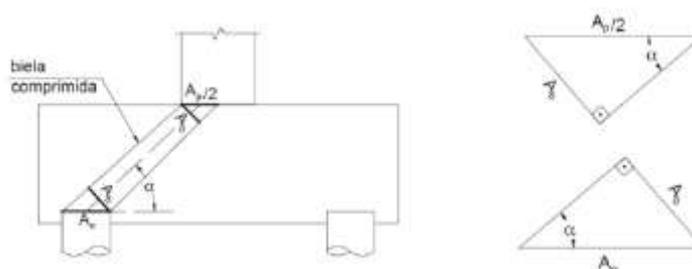
$$\sigma_{cd,b,lim,pil} = \sigma_{cd,b,lim,est} = 1,4 \cdot K_R \cdot f_{cd} \quad (2.11)$$

Se define como a tensão de compressão de calculo limite da biela comprimida junto ao pilar e a junto estaca, $\Sigma_{cd,b,lim}$.

Temos o K_R que é definido como um coeficiente que consiste em considerar a perda de resistência do concreto devido às cargas permanentes a longo tempo, conhecido como Efeito Rusch (indicado na ABNT NBR 6118/ANO item 8.2.10.1). De acordo com o determinado por Bastos (2017), podem ser adotados 0,9 em prol da segurança, seu valor pode ser definido entre 0,9 e 0,95.

Como seção ou área da biela de compressão varia de acordo com a altura do bloco (Figura 12), é preciso que ela seja averiguada junto ao pilar e junto às estacas, para que seja calculada a tensão atuante na mesma.

Figura 12 – Área da biela de concreto comprimido.



Fonte: Bastos (2017).

Junto ao pilar:

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{A_b}{A_p/2} \rightarrow A_b = \frac{A_p}{2} \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (2.12)$$

Junto à estaca:

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{A_b}{A_e} \rightarrow A_b = A_e \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (2.13)$$

Sendo que:

A_b : área da biela comprimida de concreto.

A_p : área do pilar.

A_e : área da estaca.

A tensão atuante a uma estrutura se consiste em uma razão entre força e área ($\sigma = F/A$), logo, utilizando o método mostrado na Eq. 2.12 e Eq. 2.13, temos que a tensão atuante na biela de concreto comprimido seja:

Junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,b,pil} = \frac{N_d}{A_p \cdot \text{sen}^2(\alpha)} \quad (2.14)$$

Junto à estaca:

$$\sigma_{cd,b,est} = \frac{N_d}{2 \cdot A_e \cdot \text{sen}^2(\alpha)} \quad (2.15)$$

- Dimensionamento da armadura principal de tração

“Foi analisado por Blévoit que a força medida na armadura principal foi de 15% acima da prevista”, logo, Bastos (2017) acrescenta 15% na força de tração R_S , no entanto reformulando a Eq. 6, veremos que:

$$R_S = 1,15 \cdot \frac{N}{8} \cdot \frac{2 \cdot e - a_p}{d} \quad (2.16)$$

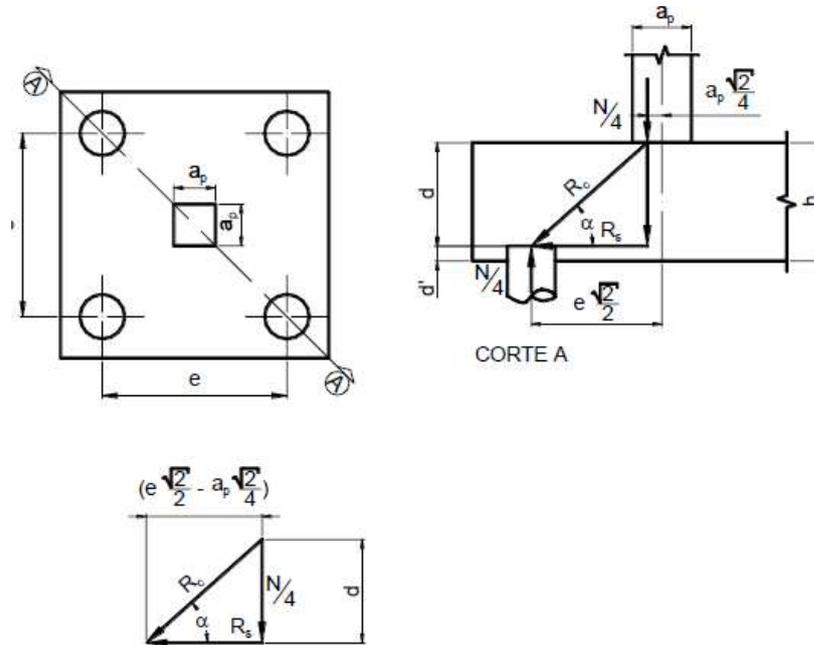
Segundo a NBR 6118:2014 item 22.3.3, a área da armadura de tração é calculada através de $A_s = F_{sd}/f_{yd}$, então:

$$R_S = 1,15 \cdot \frac{N}{8} \cdot \frac{2 \cdot e - a_p}{d \cdot f_{yd}} \quad (2.17)$$

2.1.2.1.2 Bloco sobre quatro estacas

A estrutura de forças atuantes do bloco de coroamento sobre quatro estacas é ilustrada conforme abaixo (Figura 13).

Figura 13 – Esquema de forças no bloco sobre quatro estacas.



Fonte: Bastos (2017).

Baseando-se no polígono acima, têm-se:

$$\operatorname{Tg}(\alpha) = \frac{N/4}{R_s} \cong \frac{d}{e \cdot \sqrt{2}/2 - a_p \cdot \sqrt{2}/4} \quad (2.18)$$

$$R_s = \frac{N \cdot \sqrt{2}}{16} \cdot \frac{2 \cdot e - a_p}{d} \quad (2.19)$$

Já o esforço atuante de compressão nas bielas, considera-se:

$$R_c = \frac{N}{4 \cdot \operatorname{sen}(\alpha)} \quad (2.20)$$

Em proporção à altura útil (d), é viável descrever que, ao utilizar o raciocínio acima, e considerado uma variação de 45° e 55° do ângulo α , temos:

$$0,71 \cdot \left(e - \frac{a_p}{2} \right) \leq d \leq \left(e - \frac{a_p}{2} \right) \quad (2.21)$$

Sendo assim, a altura do bloco é dada como:

$$h = d + d', \text{ com } d' \geq \begin{cases} 5 \text{ cm} \\ a_{\text{est}}/5 \end{cases}$$

Com relação às bielas comprimidas de concreto, segundo Blévo (1967) é considerado a tensão limite, em que $0,9 \leq K_r \leq 0,95$:

$$\sigma_{\text{cd,b,lim,pil}} = \sigma_{\text{cd,b,lim,est}} = 2,10 \cdot K_R \cdot f_{\text{ctd}} \quad (2.22)$$

Ademais, é efetuado um estudo da biela comprimida de concreto mais próximo ao pilar e a estaca de maneira análoga aos blocos anteriores, de modo que próximo do pilar e à estaca, a equação utilizada, é dada por:

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{A_b}{A_p/4} \rightarrow A_b = \frac{A_p}{4} \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (2.23)$$

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{A_b}{A_e} \rightarrow A_b = A_e \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (2.24)$$

Observando que a tensão sobre uma estrutura é dada pela porção entre a força e a área, e utilizando a estrutura de força, a atuação da tensão na biela mais próxima ao pilar e à estaca, é dimensionada de acordo com as equações a seguir:

Junto ao pilar:

$$\sigma_{\text{cd,b,pil}} = \frac{N_d}{A_p \cdot \text{sen}^2(\alpha)} \quad (2.25)$$

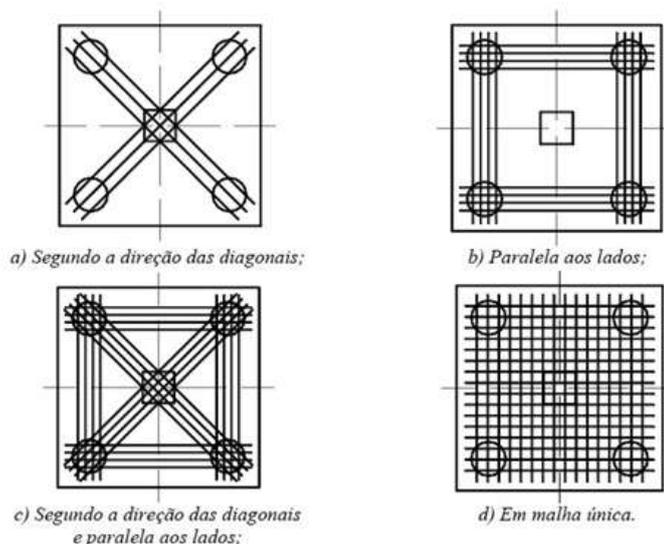
Junto à estaca:

$$\sigma_{\text{cd,b,est}} = \frac{N_d}{4 \cdot A_e \cdot \text{sen}^2(\alpha)} \quad (2.26)$$

Em comparação o cálculo da armadura principal (tração), é da mesma forma

que ocorre no bloco de três estacas, porém a inúmeras maneiras de utilizar a armadura de tração no bloco de quatro estacas, conforme mostrado na figura 14:

Figura 14 – Possíveis detalhamentos da armadura principal no bloco sobre quatro estacas.



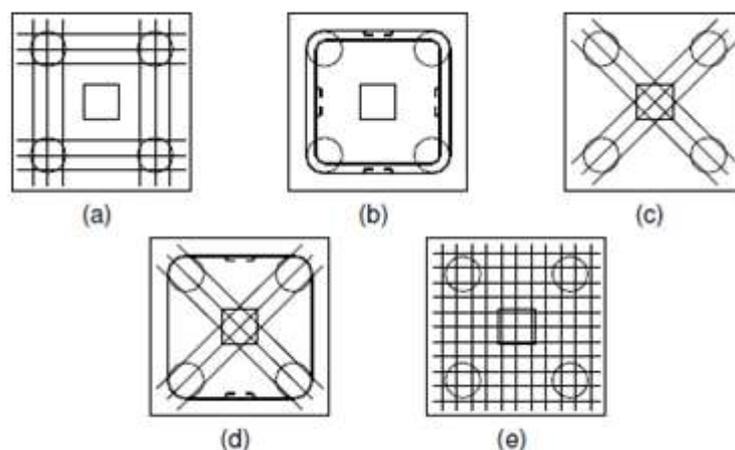
Fonte: Bastos (2017).

De acordo com Bastos (2017):

O detalhamento mais usual na prática é o demonstrado no item b, sendo um dos mais eficientes. O detalhamento **a** apresentou fissuras lateral excessiva já para cargas reduzidas. A armadura com malha (**d**) apresentou carga de ruptura inferior ao dos outros casos, com uma eficiência de 80%, e o melhor desempenho quanto à fissuração. Nos detalhamentos **a**, **b** e **c**, deve ser acrescentada uma armadura inferior em malha, a fim de evitar fissuras na parte inferior do bloco.

Diversos pesquisadores coordenaram ensaios em blocos de 2, 3 e 4 estacas planejando observar a prestabilidade da teoria de bielas e a devida influência em arranjos de armadura (BLÉVOT, FRÉMY, 1967; OLIVEIRA, 2013). Observando o bloco sobre quatro estacas, são realizados 5 tipos de armadura, como ilustrado na Figura 15, cada uma delas, são respectivamente: (a) armadura conforme os lados do bloco; (b) armadura em lanço que contorna as estacas; (c) armadura conforme as diagonais; (d) combinando entre as armaduras em razão das diagonais e laços; (e) armadura em malha:

Figura 15 – Modelos de blocos sobre quatro estacas.



Fonte: De Oliveira (2009).

De acordo com a figura (15), as armaduras dispostas nos exemplos (a), (b), (c) e (d) têm a mesma eficiência. Porém o modelo (e), declarado por Bastos (2017), demonstrou uma competência de 80% do limite desejado. Já na fissuração, conforme o modelo (b) expôs o surgimento de fissuras na parte abaixo do bloco, isto é, necessário o acréscimo de armadura secundária em malha. Da mesma maneira, o modelo dado em (c) apresenta uma quantidade elevada de fissuras considerando as forças de menor intensidade.

Dentre os modelos testados pelo observador, nenhum deles revela uma ocorrência de ruína por punção, e em todos os exemplos ela se deu após o escoamento da armadura principal (BLÉVOT, 1967; OLIVEIRA, 2013) Já a armadura principal nas direções diagonais do bloco, a força de tração R_s é considerada como:

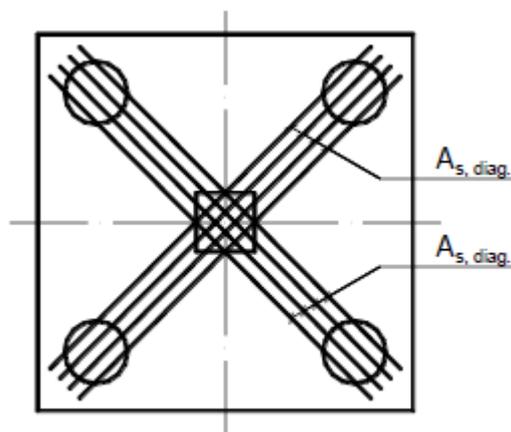
$$R_s = \frac{N \cdot \sqrt{2}}{16} \cdot \frac{2 \cdot e - a_p}{d} \quad (2.27)$$

Sendo assim, a área da armadura principal analisando a direção de cada diagonal, é confirmada por:

$$A_{s,diag} = \frac{N_d \cdot \sqrt{2}}{16} \cdot \frac{2 \cdot e - a_p}{d \cdot f_{yd}} \quad (2.28)$$

A Figura 16 mostra o detalhamento da armadura principal conforme a diagonal do bloco sobre quatro estacas.

Figura 16 – Bloco sobre quatro estacas com armadura principal na direção das diagonais.



Fonte: Bastos (2017).

Analisando o bloco de quatro estacas, é observado um ângulo de 45° entre as diagonais. Portanto a Equação abaixo expõe a força de tração R_s na direção diagonal, e a partir daí, pressupõe a força R'_s decompondo a força R_s . Sendo assim é provável notar que:

$$R'_s = \frac{R_s}{\sqrt{2}} \quad (2.29)$$

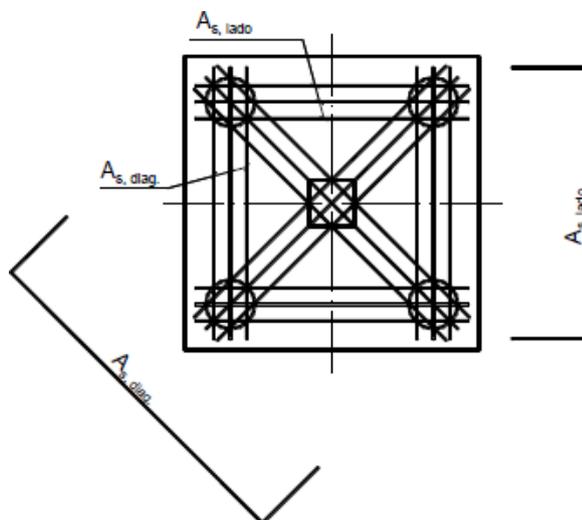
Deste modo, a armadura sendo na direção diagonal e a armadura paralela aos blocos é dimensionada, conforme as Equações 2.30 e 2.31.

$$A_{s,diag} = \frac{N_d \cdot \sqrt{2}}{16} \cdot \frac{2 \cdot e - a_p}{d \cdot f_{yd}} \quad (2.30)$$

$$A_{s,lado} = \frac{N_d}{16} \cdot \frac{2 \cdot e - a_p}{d \cdot f_{yd}} \quad (2.31)$$

Já na Figura 17 é demonstrado o detalhamento da armadura principal fundamentada na diagonal e na paralela dos lados do bloco sobre quatro estacas.

Figura 17 – Bloco sobre quatro estacas com armadura principal disposta nos lados e nas diagonais.



Fonte: Bastos (2017).

O detalhamento que é mais usual na prática é formado pela armadura paralela aos lados do bloco e com malha inferior (BASTOS,2017). A força R'_s é dimensionada como abaixo:

$$R'_s = \frac{R_s}{\sqrt{2}} \quad (2.32)$$

Sendo assim, considera-se a armadura de tração dada para cada lateral do bloco é calculada por:

$$A_{s,lado} = \frac{N_d}{16} \cdot \frac{2 \cdot e - a_p}{d \cdot f_{yd}} \quad (2.33)$$

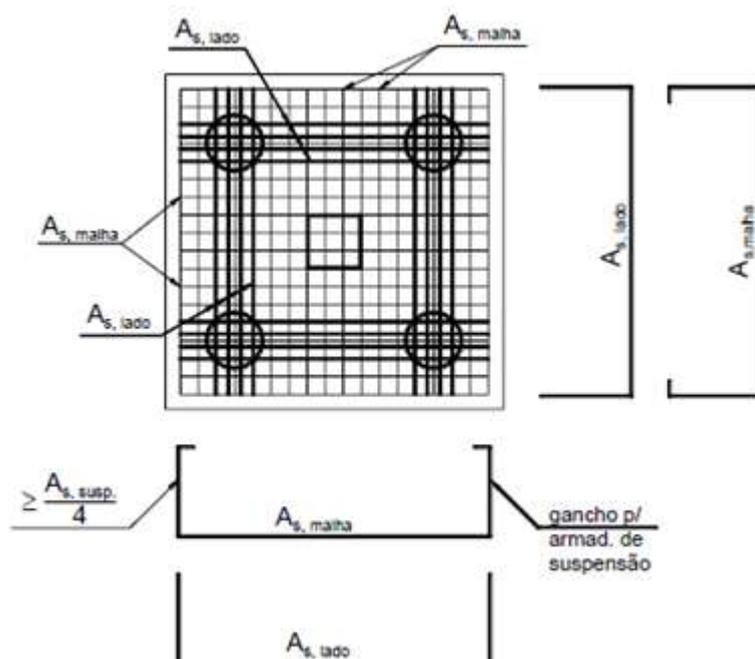
No entanto se calcula a armadura de distribuição em malha analisando as direções horizontais e verticais como 1/5 da área total de armadura do bloco. Além do mais considerando a facilidade na construção, a malha de distribuição pode ser dada por ganchos que são inseridos nas laterias do bloco, funcionando também como uma armadura de suspensão, quando esta for necessária (BASTOS, 2017). Embora sendo considerado por BASTOS (2017) um valor de 25% da armadura principal de uma face até a armadura de distribuição, será considerado o valor dado

determinado pela NBR 6118.2014 para a armadura de distribuição uma malha harmoniosamente distribuída em duas direções para 20% dos esforços totais; sendo obtida a malha como:

$$A_{s, malha} = 0,20 \cdot A_{s, total} \geq \frac{A_{s, sup}}{4} \quad (2.34)$$

Na Figura 18 é ilustrado o detalhamento da armadura principal na direção concorrente aos lados com malha do bloco sobre quatro estacas.

Figura 18 – Bloco sobre quatro estacas com armadura principal na direção paralela aos lados do bloco.



Fonte: Bastos (2017).

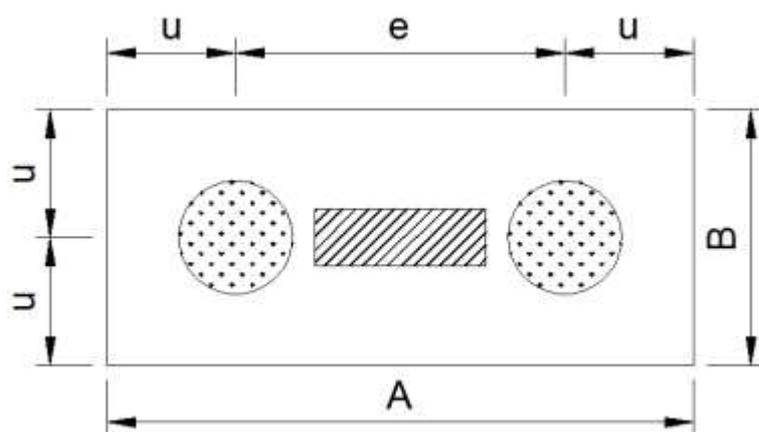
3. DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS DE COROAMENTO DE ESTACAS

Neste capítulo serão apresentados os dimensionamentos de blocos de coroamento com duas e com quatro estacas.

3.1 Dimensionamento bloco de coroamento sobre duas estacas

Calcular a armadura de um bloco sobre duas estacas de 30 cm de diâmetro que serve de apoio a um pilar com dimensões 40 x 40 cm de lado e carga de 937 kN. Adotar o aço CA-50, $f_{ck} = 20$ Mpa, espaçamento entre estacas $e = 3 \times \varnothing_{est} = 90$ cm, o afastamento da estaca a face do bloco será $u = \frac{\varnothing_{est}}{2} + 15 = 30$ cm e o cobrimento de $c = 3$ cm.

Figura 19 – Bloco de coroamento de duas estacas.



Fonte: Autores (2019).

A seguir teremos o cálculo para determinar o tamanho do bloco:

$$A = e + 2 \cdot u = 0,90 + 2 \cdot 0,30 = 1,50\text{m} \quad (3.1)$$

$$B = 2 \cdot u = 2 \cdot 0,30 = 0,60\text{ m} \quad (3.2)$$

Interessante à utilização de dimensões com múltiplos de cinco, sendo assim: $A = 1,50$ m e $B = 0,60$ m.

Calculado a dimensão do bloco, define-se a altura útil d do bloco de coroamento, atendendo o ângulo de inclinação da biela com o intervalo entre $45^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$. Determinando os valores máximos e mínimos de d utilizando a equação (2.8):

$$d_{\text{mín}} = \frac{1}{2} \cdot (90 - 40/2) = 35,0 \text{ cm} \quad (3.3)$$

$$d_{\text{máx}} = 0,714 \cdot (90 - 40/2) = 49,98 \text{ cm} \quad (3.4)$$

Logo, adotaremos altura útil $d = 45 \text{ cm}$.

Para determinar se a altura útil adotada é aceitável, é necessário calcular o tamanho da ancoragem da armadura do pilar, para isso, vamos considerar o $\emptyset_{\text{aço,pil}}$ de 10 mm.

$$F_{\text{ctd}} = \frac{0,7 \cdot 0,3 \cdot (20^{2/3})}{1,4} = 1,10 \text{ Mpa} \quad (3.5)$$

$$f_{\text{bd}} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,10 = 2,48 \text{ Mpa} \quad (3.6)$$

$$l_b = \frac{1,0}{4} \cdot \frac{500/1,15}{2,48} = 43,82 \text{ cm} \quad (3.7)$$

Segundo a verificação, concluiu-se que $d > l_b$, logo, podemos prosseguir com o dimensionamento do bloco. Agora vamos definir h (altura do bloco), considera-se a linha neutra da armadura principal que é posicionada acima das estacas e o cobrimento de 10 cm da estaca no bloco, logo temos:

$$h = d + 10 + \emptyset_p/2 = 45 + 10 + 1,0/2 = 55,5 \text{ cm} \quad (3.8)$$

Para os devidos cálculos, adotaremos $h = 56 \text{ cm}$.

Determinado as alturas necessárias, verifica-se o ângulo de inclinação das bielas de compressão através da equação (2.4):

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \cdot \left[\frac{45}{\left(\frac{90}{2}\right) - \left(\frac{40}{4}\right)} \right] = 52,12^\circ \quad (3.9)$$

O ângulo de $52,12^\circ$ atende a solicitação do intervalo entre 45° e 55° .

Será feito a verificação das bielas comprimidas de concreto. Conforme equação (2.11) verifica-se a tensão limite, logo, verifica-se a tensão de compressão solicitada de calculo no pilar pela equação (2.14) e na estaca, equação (2.15), que deve ser menor do que a tensão limite calculada:

$$\sigma_{cd, \text{lim}} = 1,4 \cdot 0,9 \cdot \frac{20}{1,4} = 18 \text{ Mpa} \quad (3.10)$$

$$\sigma_{cd, \text{b, pil}} = \frac{1,4 \cdot 937}{(0,40 \cdot 0,40) \cdot \text{sen}(52,12^\circ)^2} = 13,16 \text{ Mpa} \quad (3.11)$$

$$\sigma_{cd, \text{b, est}} = \frac{1,4 \cdot 937}{\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{0,30^2}{4}\right) \cdot \text{sen}(52,12^\circ)^2} = 14,89 \text{ Mpa} \quad (3.12)$$

Como a tensão de compressão junto ao pilar e junto a estaca são menores do que a tensão limite, podemos assim prosseguir com o dimensionamento da armadura principal de tração distribuídas sobre as estacas, utilizando a equação (2.17)

$$A_s = 1,15 \cdot \frac{1,4 \cdot 937}{8} \cdot \frac{2 \cdot 0,90 - 0,40}{0,45 \cdot \frac{500}{1,15}} = 13,40 \text{ cm}^2 \quad (3.13)$$

Será adotado para fins de dimensionamento da armadura principal de tração do bloco o aço de $\emptyset 25 \text{ mm}$, logo, a área do aço adotado será de:

$$A_{s, \text{aço, adot.}} = \frac{\pi \cdot 2,5^2}{4} = 4,91 \text{ cm}^2 \quad (3.14)$$

A seguir, o calculo para a quantidade de barras que serão necessárias para a área de aço calculada:

$$A_s = \frac{13,40}{4,91} = 2,73 \cong 3 \text{ barras} \quad (3.15)$$

Espaçamento entre a armadura na cabeça da estaca:

$$Esp. = \frac{1,20 \cdot \phi_e}{N^{\circ}barras - 1} = \frac{1,20 \cdot 30}{3 - 1} = 18,0 \text{ cm} \quad (3.16)$$

Comprimento da armadura:

$$Comp. = A - 2 \cdot c + 2 \cdot (d - c) = 150 - 2 \cdot 3 + 2 \cdot (45 - 3) = 228 \text{ cm} \quad (3.17)$$

Logo temos que:

$$\mathbf{N_1 = 3 \text{ } \phi \text{ 25; c = 223; c/18}}$$

Já para a armadura de pele (estribo horizontal), será definido a seguir:

$$A_{s, \text{pele}} = \frac{13,40}{8} = 1,68 \text{ cm}^2 \quad (3.18)$$

Será adotado, para fins de dimensionamento do estribo do bloco, o aço de $\phi 8 \text{ mm}$, a seguir, será calculado a área seção do aço:

$$A_{s, \text{aço, adot.}} = \frac{\pi \cdot 0,063^2}{4} = 0,31 \text{ cm}^2 \quad (3.19)$$

A seguir, o calculo para a quantidade de barras que serão necessárias para a área de aço calculada:

$$N^{\circ}barras = \frac{1,68}{0,31} = 5,42 \cong 6 \text{ barras} \quad (3.20)$$

Espaçamento entre a armadura (estribo) do bloco:

$$Esp. = \frac{d - c}{N^{\circ}barras - 1} = \frac{45 - 3}{6 - 1} = 8,4 \text{ cm} \cong 8 \text{ cm} \quad (3.21)$$

Comprimento da armadura (estribo):

$$\begin{aligned} Comp. &= 2 \cdot [A - (2 \cdot c)] + 2 \cdot [B - (2 \cdot c)] + 2 \cdot (dobra/estribo) \\ Comp. &= 2 \cdot [150 - (2 \cdot 3)] + 2 \cdot [60 - (2 \cdot 3)] + 2 \cdot 5 = 406 \text{ cm} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Logo temos que:

$$N_2 = 6 \text{ } \emptyset \text{ 6,3; } c = 406; c/8$$

✓ Cálculo de custo para o bloco de coroamento:

- Volume de concreto:

$$V_{conc.} = A \cdot B \cdot h = 1,50 \cdot 0,60 \cdot 0,56 = 0,504 \text{ m}^3 \quad (3.23)$$

- Volume de solo escavado:

$$V_{solo} = A \cdot B \cdot h = 1,50 \cdot 0,50 \cdot 0,56 = 0,504 \text{ m}^3 \quad (3.24)$$

- Armadura de tração principal com aço \emptyset 25 mm:

$$C_{tot.aço} = comp \cdot N^{\circ}barras = 2,28 \cdot 3 = 6,84 \text{ m} \quad (3.25)$$

- Armadura de pele com aço \emptyset 6.3 mm:

$$C_{tot.aço} = comp \cdot N^{\circ}barras = 4,06 \cdot 6 = 24,36 \text{ m} \quad (3.26)$$

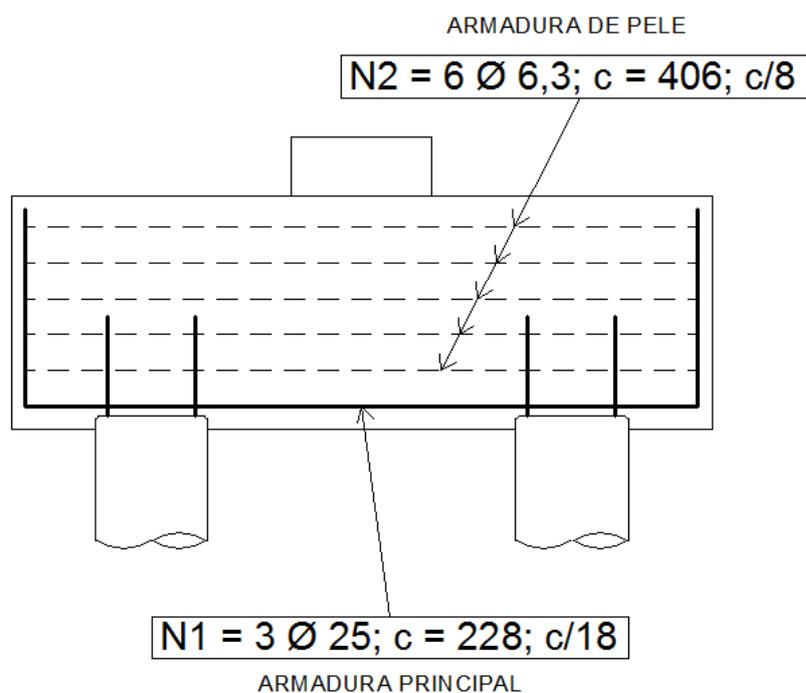
A seguir, estão os cálculos dos valores gastos para a sua execução e o detalhamento do bloco dimensionado conforme quadro 3 e figura 20 a seguir:

Quadro 3 – Valor para o bloco de duas estacas

DADOS DO DESENVOLVIMENTO TEÓRICO PARA DUAS ESTACAS			
Tipo de Serviço	Unidade	Valor/Unidade	Valor
Escavação Manual	0,5040 m ³	R\$ 153,14	R\$ 77,18
Concreto Bombeado fck 20	0,5040 m ³	R\$ 252,30	R\$ 127,16
Cálculo do aço	Ø 25,00 mm	6,84 metros	R\$ 4,77
	Ø 6,3 mm	24,36 metros	R\$ 4,86
Valor Total			R\$ 355,36

Fonte: Autores (2019).

Figura 20 – Bloco de coroamento de duas estacas.

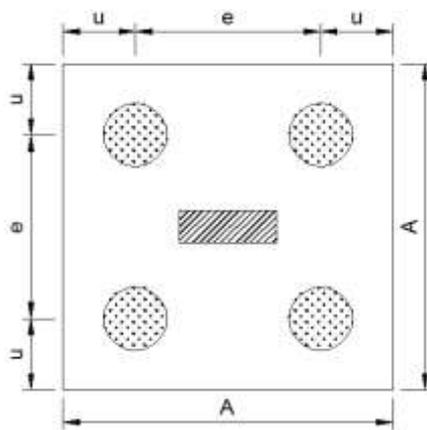


Fonte: Dos autores (2019).

3.1.2 Dimensionamento de bloco de coroamento sobre quatro estacas

Calcular a armadura de um bloco sobre duas estacas de 30 cm de diâmetro que serve de apoio a um pilar com dimensões 60 X 60 cm de lado e carga de 1794 kN. Adotar o aço CA-50, $f_{ck} = 20$ Mpa, espaçamento entre estacas $e = 3 \times \varnothing_{est} = 90$ cm, o afastamento da estaca a face do bloco será $u = \frac{\varnothing_{est}}{2} + 15 = 30$ cm e o cobrimento de $c = 3$ cm.

Figura 21 – Bloco de coroamento de duas estacas.



Fonte: Autores (2019).

A seguir teremos o cálculo para determinar o tamanho do bloco:

$$A = B = e + 2 \cdot u = 0,90 + 2 \cdot 0,30 = 1,50\text{m} \quad (3.27)$$

Interessante a utilização de dimensões com múltiplos 5, sendo assim, adotaremos $A = B = 1,50\text{ m}$.

Calculado a dimensão do bloco, define-se a altura útil d do bloco de coroamento, atendendo o ângulo de inclinação da biela com o intervalo entre $45^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$. Determinando os valores máximos e mínimos de d utilizando a equação (2.21).

$$d_{\text{mín}} = 0,71 \cdot (90 - 60/2) = 42,60\text{ cm} \quad (3.28)$$

$$d_{\text{máx}} = (90 - 60/2) = 60,0\text{ cm} \quad (3.29)$$

Logo, adotaremos altura útil $d = 45\text{ cm}$.

Para determinar se a altura útil adotada é aceitável, é necessário calcular o tamanho da ancoragem da armadura do pilar, para isso, vamos considerar o \varnothing_p de 10 mm.

$$f_{ctd} = \frac{0,7 \cdot 0,3 \cdot 20^{2/3}}{1,4} = 1,10\text{ Mpa} \quad (3.30)$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,10 = 2,48\text{ Mpa} \quad (3.31)$$

$$l_b = \frac{1,0}{4} \cdot \frac{500/1,15}{2,48} = 43,82 \text{ cm} \quad (3.32)$$

Segundo a verificação, concluiu-se que $d > l_b$, logo, podemos prosseguir com o dimensionamento do bloco. Agora vamos definir h (altura do bloco), considera-se a linha neutra da armadura principal que é posicionada acima das estacas e o cobrimento de 10 cm da estaca no bloco, logo temos:

$$h = d + 10 + \frac{\emptyset p}{2} = 45 + 10 + \frac{1,0}{2} = 55,5 \text{ cm} \quad (3.33)$$

Para os devidos cálculos, adotaremos $h = 56 \text{ cm}$.

Determinado as alturas necessárias, verifica-se o ângulo de inclinação das bielas de compressão de acordo com a equação (2.18):

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \cdot \left[\frac{45}{\left(90 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}\right) - \left(60 \cdot \frac{\sqrt{2}}{4}\right)} \right] = 46,68^\circ \quad (3.34)$$

O ângulo de $46,68^\circ$ atende a solicitação do intervalo entre 45° e 55° .

Será feito a verificação das bielas comprimidas de concreto. Conforme a equação (2.22) verifica-se a tensão limite, logo, verifica-se a tensão de compressão solicitada de cálculo no pilar, equação (2.25) e na estaca, equação (2.26), que deve ser menor do que a tensão limite calculada.

$$\sigma_{cd, \text{lim}} = 2,10 \cdot 0,9 \cdot \frac{20}{1,4} = 18,0 \text{ Mpa} \quad (3.35)$$

$$\sigma_{cd, \text{b, pil}} = \frac{1,4 \cdot 1794}{(0,60 \cdot 0,60) \cdot \text{sen}(46,68^\circ)^2} = 13,18 \text{ Mpa} \quad (3.36)$$

$$\sigma_{cd, \text{b, est}} = \frac{1,4 \cdot 1794}{\left(4 \cdot \pi \cdot \frac{0,30^2}{4}\right) \cdot \text{sen}(46,68^\circ)^2} = 16,78 \text{ Mpa} \quad (3.37)$$

Com a tensão de compressão junto ao pilar e a estaca são menores do que a tensão limite pode prosseguir com o dimensionamento da armadura principal de tração distribuída sobre as estacas através da equação (2.31):

$$A_{s, \text{lado}} = \frac{1,4 \cdot 1794}{16} \cdot \frac{2 \cdot 0,90 - 0,60}{0,45 \cdot \left(\frac{500}{1,15}\right)} = 9,63 \text{ cm}^2 \quad (3.38)$$

Será adotado para fins de dimensionamento da armadura principal de tração do bloco o aço de $\emptyset 20 \text{ mm}$, logo, a área do aço adotado será de:

$$A_{s, \text{aço, adot.}} = \frac{\pi \cdot 2,0^2}{4} = 3,14 \text{ cm}^2 \quad (3.39)$$

A seguir, o cálculo para a quantidade de barras que serão necessárias para a área de aço calcula:

$$A_s = \frac{9,63}{3,14} = 3,07 \cong 4 \text{ barras} \quad (3.40)$$

Espaçamento entre a armadura na cabeça da estaca:

$$Esp. = \frac{1,20 \cdot \emptyset_e}{N^{\circ} \text{barras} - 1} = \frac{1,20 \cdot 30}{4 - 1} = 12 \text{ cm} \quad (3.41)$$

Comprimento da armadura:

$$\begin{aligned} Comp. &= A - 2 \cdot c + 2 \cdot (d - c) \\ Comp. &= 150 - 2 \cdot 3 + 2 \cdot (45 - 3) = 228 \text{ cm} \end{aligned} \quad (3.42)$$

Logo temos que:

$$\mathbf{N_1 = 4 \emptyset 20; c = 228;; c/12 (4X)}$$

Já para a armadura de pele (estribo horizontal), será definido a seguir:

$$A_{s, \text{pele}} = \frac{9,63}{8} = 1,20 \text{ cm}^2 \quad (3.43)$$

Será adotado para fins de dimensionamento da armadura principal de tração do bloco o aço de $\emptyset 6.3$ mm, logo, a área do aço adotado será de:

$$A_{s, \text{aço, adot.}} = \frac{\pi \cdot 6,3^2}{4} = 0,31 \text{ cm}^2 \quad (3.44)$$

A seguir, o calculo para a quantidade de barras que serão necessárias para a área de aço calculada:

$$A_s = \frac{1,20}{0,31} = 3,87 \cong 4 \text{ barras} \quad (3.45)$$

Espaçamento entre a armadura (estribo) do bloco:

$$Esp. = \frac{d - c}{N^{\circ} \text{barras} - 1} = \frac{45 - 3}{4 - 1} = 14 \text{ cm} \quad (3.46)$$

Comprimento da armadura (estribo):

$$\begin{aligned} Comp. &= 2 \cdot [A - (2 \cdot c)] + 2 \cdot [B - (2 \cdot c)] + 2 \cdot (\text{dobra/estribo}) \\ Comp. &= 2 \cdot [140 - (2 \cdot 3)] + 2 \cdot [140 - (2 \cdot 3)] + 2 \cdot 5 = 546 \text{ cm} \end{aligned} \quad (3.47)$$

$$\mathbf{N_2 = 4 \emptyset 6.3; c = 586; c/14}$$

✓ Calculo de custo para o bloco de coroamento:

- Volume de concreto:

$$V_{conc.} = A \cdot B \cdot h = 1,50 \cdot 1,50 \cdot 0,56 = 1,26 \text{ m}^3 \quad (3.48)$$

- Volume de terra escavada:

$$V_{solo} = A \cdot B \cdot h = 1,50 \cdot 1,50 \cdot 0,56 = 1,26 \text{ m}^3 \quad (3.49)$$

- Armadura de tração principal com aço Ø 20 mm:

$$C_{tot.aço} = comp \cdot N^{\circ}barras = 4 \cdot (2,28 \cdot 4) = 36,48m \quad (3.50)$$

- Armadura de pele com aço Ø 6.3 mm:

$$C_{tot.aço} = comp \cdot N^{\circ}barras = 586 \cdot 4 = 23,44 \text{ cm} \quad (3.51)$$

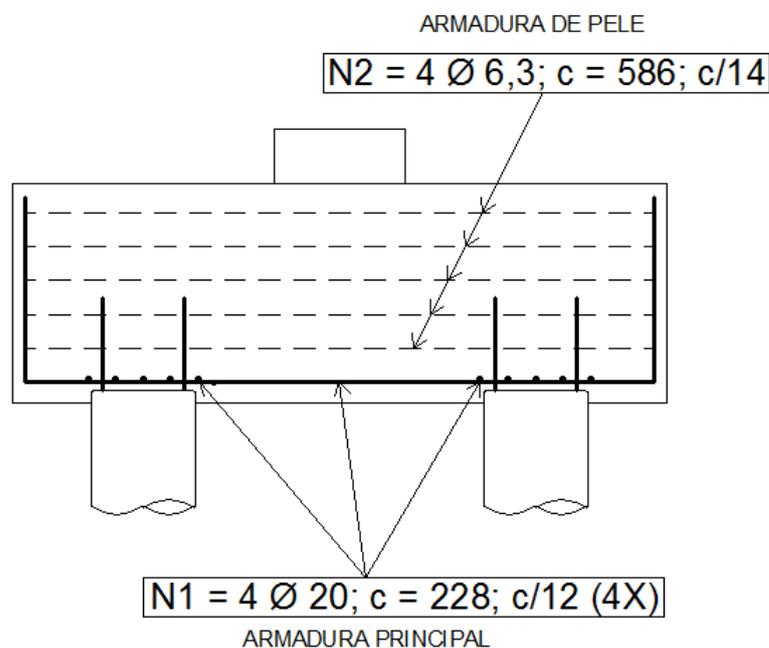
A seguir, estão os cálculos dos valores gastos para a sua execução e o detalhamento do bloco dimensionado conforme quadro 4 e figura 22 a seguir:

Quadro 4 – Valor para o bloco de quatro estacas.

DADOS DO DESENVOLVIMENTO TEÓRICO PARA QUATRO ESTACAS				
Tipo de Serviço	Unidade	Valor/Unidade	Valor	
Escavação Manual	1,260 m ³	R\$ 153,14	R\$ 192,96	
Concreto Bombeado fck 20	1,260 m ³	R\$ 252,30	R\$ 317,90	
Cálculo do aço	Ø 20,00 mm	36,48 metros	R\$ 4,13	R\$ 150,66
	Ø 6,3 mm	23,44 metros	R\$ 4,86	R\$ 113,92
Valor Total			R\$ 775,44	

Fonte: Autores (2019).

Figura 22 – Bloco de coroamento de quatro estacas.



Fonte: Autores (2019).

3.2 Dimensionamento de Bloco de Estaca através do programa W.&.ARC

Com base nos estudos realizados sobre fundações profundas, foi desenvolvido um programa chamado W.&.ARC, o qual foi nomeado com as iniciais dos nomes dos autores deste trabalho, tendo como objetivo facilitar o cálculo e dimensionamento de blocos de coroamento sobre estacas. Os cálculos utilizados no programa são baseados na obra de Urbano Rodrigues (2001) Exercícios de Fundações.

O programa foi elaborado para auxiliar profissionais e alunos da engenharia civil a obterem um cálculo de bloco de coroamento sobre estacas com maior praticidade, de acordo com a quantidade de estacas necessárias para determinada edificação.

O método de dimensionamento foi elaborado por *software* com o intuito de ser disponibilizado gratuitamente em sites de pesquisas. Com isso estudantes e profissionais da área da engenharia civil poderão utilizar a ferramenta para dimensionar fundações e obter conhecimentos básicos da área.

O modo como o programa foi desenvolvido, explorando a linguagem VBA em associação à plataforma *Microsoft Excel*, fez com que o espaço ocupado por ele, em qualquer computador, seja mínimo, principalmente quando se comparado a outros

programas relacionados, uma vez que estes dependem de configurações mais avançadas.

A interface do programa proposto é amigável, seu manuseio é de fácil acesso e intuitivo. Já os demais programas necessitam de cursos, estudos e pesquisas para que se obtenha algum resultado.

3.2.1 Dimensionamento bloco de coroamento sobre duas estacas

Calcular a armadura de um bloco sobre duas estacas de 30 cm de diâmetro que serve de apoio a um pilar com dimensões 40 x 40 cm de lado e carga de 937 kN. Adotar o aço CA-50, $f_{ck} = 20$ Mpa, espaçamento entre estacas $e = 3 \times \varnothing_{est} = 90$ cm e o cobrimento de $c = 3$ cm.

Nesse exemplo em questão, serão realizados os mesmos dimensionamentos calculados no método teórico, porém agora utilizando o programa confeccionado pelos alunos.

Para início no cálculo, será necessária a inserção de alguns dados, eles serão de extrema necessidade para que o dimensionamento seja realizado de forma precisa. Ao abrir o W.&.ARC, aparecerá a tela inicial com a mensagem conforme a figura 23.

Figura 23 – Tela “Inicial” do W.&.ARC



Fonte: Programa W.&.ARC – elaborado pelos autores (2019).

Nesta etapa, verificam-se duas opções para dimensionamento de “FUNDAÇÃO PROFUNDA”, sendo que o cálculo para “ESTACAS” será contemplado nessa versão inicial, ficando a cargo de um futuro trabalho o “TUBULÃO”. Depois de selecionada a opção “ESTACA”, o programa vai direcionar para a próxima etapa, conforme a figura 24.

Figura 24 – Tela “Definir o Número de Estacas” no W.&.ARC



Fonte: Programa W.&.ARC – elaborado pelos autores (2019).

Após ser definido o número de estacas a ser calculado, basta selecionar a opção de acordo com o número de estacas desejadas, conforme a figura 25 é possível notar que será necessária, para o cálculo, a inserção dos dados solicitada em projeto como o diâmetro da estaca, dimensões do pilar, a carga em Kn, o tipo do aço, o f_{ck} do concreto e o cobrimento (espessura do concreto entre a face interna da forma e a armadura), no qual os campos a serem inseridos os dados, se encontra destacado com o texto em vermelho.

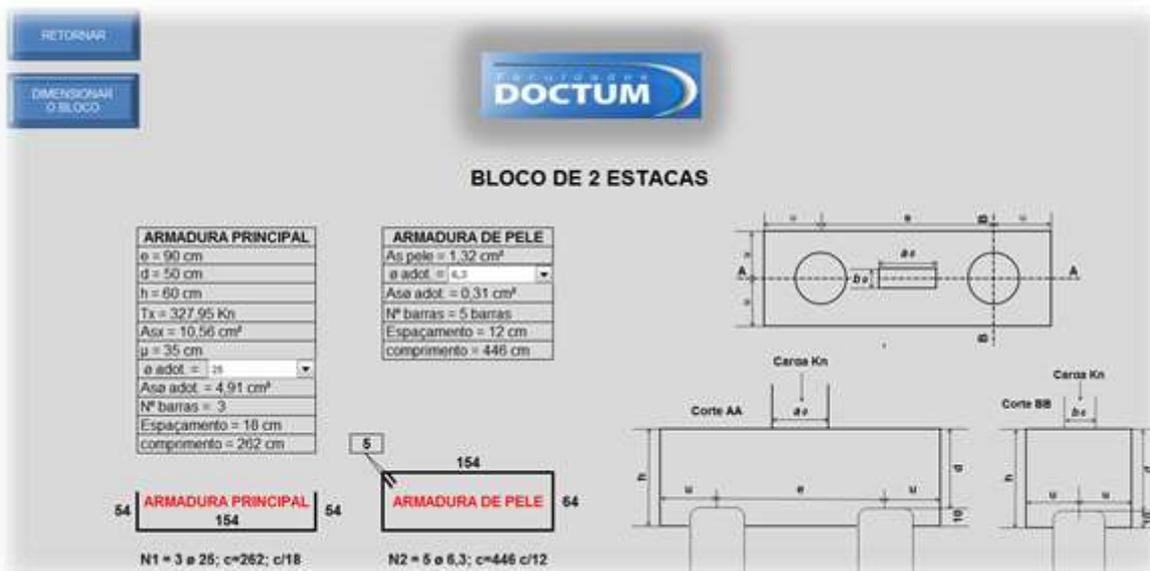
Figura 25 – Tela “Inserir Dados Para Cálculo” no W.&.ARC



Fonte: Programa W.&.ARC – elaborado pelos autores (2019).

Após inserir os dados solicitados, basta clicar no botão “DIMENSIONAR O BLOCO”, que em seguida irá abrir a próxima tela. Segundo os dados inseridos, o programa realizará o cálculo da armadura principal que conforme a NBR 6118:2014, esta armadura ficará disposta essencialmente (mais de 85%) nas faixas definidas pelas estacas, considerando-se sempre o equilíbrio com as respectivas bielas, sendo assim essa armadura ficará por cima das estacas, em no mínimo 0,85 da área calculada. Além disso, como fala de Oliveira (2009), e por outros vários autores é que essas armaduras sejam concentradas sobre as estacas e não distribuída de modo igual pela largura do bloco. Segundo Lopes (2011) em grandes estruturas com grandes alturas e/ou cobrimento da armadura principal, para evitar fissuras superficiais é necessário o emprego de armadura de pele (lateral). Já Alonso (2010) sugere o uso de armadura de pele nos casos em que a armadura principal tenha diâmetro muito elevado, com a finalidade de reduzir a fissuração. O autor ainda afirma que seu valor pode ser adotado como 1/8 da seção total da armadura principal, em cada face do bloco, logo, no W.&.ARC será adotado a armadura de pele para todos os dimensionamentos realizados conforme a figura 26.

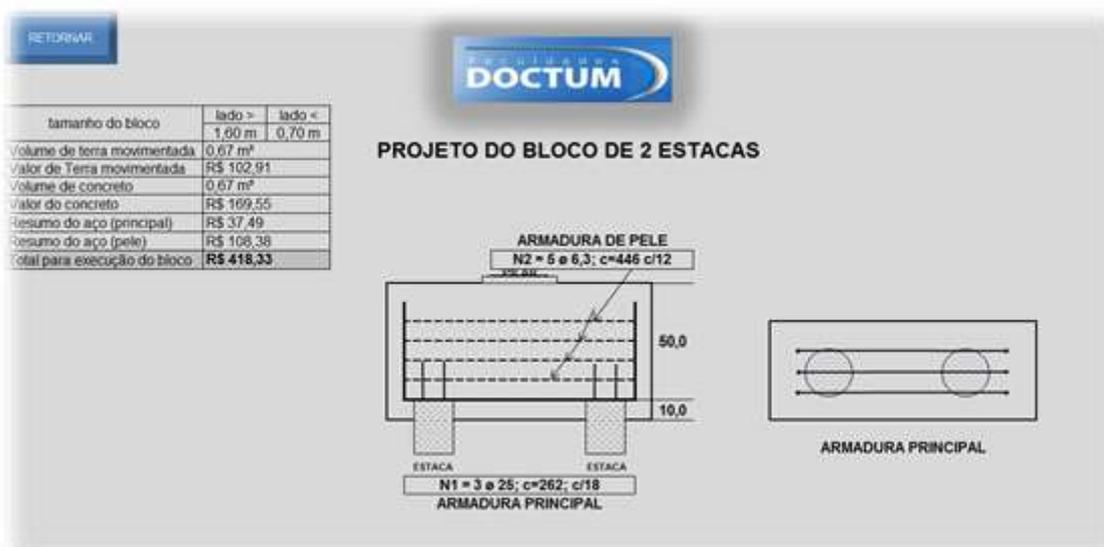
Figura 26 – Tela “Informações dos Dados Calculados” pelo W.&.ARC



Fonte: Programa W.&.ARC – elaborado pelos autores (2019).

Na figura 26, existe a possibilidade de verificar qual armadura melhor se enquadra em seu projeto, na aba destacada de branco, será possível alterar o diâmetro da armadura principal e de pele. Após definir o diâmetro a ser utilizado, basta clicar no botão “DIMENSIONAR O BLOCO”, onde será possível verificar os cálculos dos valores gastos para a execução e o detalhamento do bloco dimensionado conforme figura 27.

Figura 27 – Tela “Projeto e Valor do Bloco Calculado” pelo W.&.ARC



Fonte: Programa W.&.ARC – elaborado pelos autores (2019).

3.2.2 Dimensionamento bloco de coroamento sobre quatro estacas

Calcular a armadura de um bloco sobre duas estacas de 30 cm de diâmetro que serve de apoio a um pilar com dimensões 60 X 60 cm de lado e carga de 1794 kN. Adotar o aço CA-50, $f_{ck} = 20$ Mpa, espaçamento entre estacas $e = 3 \times \varnothing_{est} = 90$ cm e o cobrimento de $c = 3$ cm.

Para início no cálculo, será necessária a inserção de alguns dados, eles serão de extrema necessidade para que o dimensionamento seja realizado de forma precisa. Ao abrir o W.&.ARC, aparecera a tela inicial com a mensagem conforme a figura 23.

Para início no cálculo, será necessária a inserção de alguns dados, eles serão de extrema necessidade para que o dimensionamento seja realizado de forma precisa. Ao abrir o W.&.ARC, aparecera a tela inicial com a mensagem conforme a figura 28.

Figura 28 – Tela “Inicial” do W.&.ARC



Fonte: Programa W.&.ARC – elaborado pelos autores (2019)

Nesta etapa, verificam-se duas opções para dimensionamento de “FUNDAÇÃO PROFUNDA”, sendo que o cálculo para “ESTACAS” será contemplado nessa versão inicial, ficando a cargo de um futuro trabalho o “TUBULÃO”. Depois de selecionada a opção “ESTACA”, o programa vai direcionar para a próxima etapa, conforme a figura 29.

Figura 29 – Tela “Definir o Número de Estacas” no W.&.ARC



Fonte: Programa W.&.ARC – elaborado pelos autores (2019)

Após ser definido o número de estacas a ser calculado, basta selecionar a opção de acordo com o número de estacas desejadas, conforme a figura 30 é possível notar que será necessária, para o cálculo, a inserção dos dados solicitada em projeto como o diâmetro da estaca, dimensões do pilar, a carga em Kn, o tipo do aço, o fck do concreto e o cobrimento (espessura do concreto entre a face interna da forma e a armadura), no qual os campos a serem inseridos os dados, se encontra destacado com o texto em vermelho.

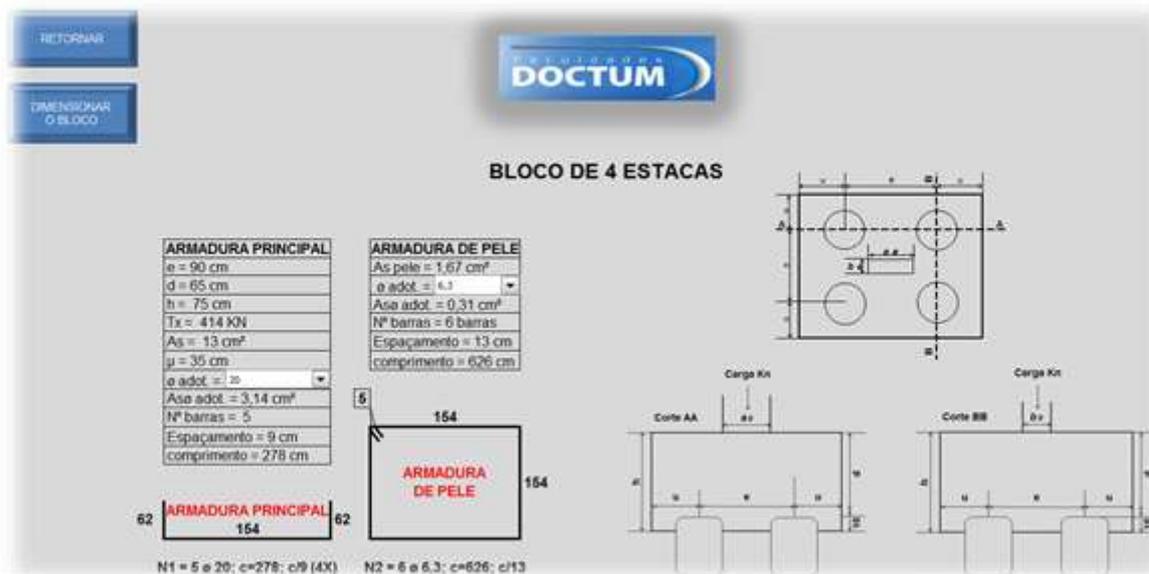
Figura 30 – Tela “Inserir Dados Para Cálculo” no W.&.ARC



Fonte: Programa W.&.ARC – elaborado pelos autores (2019)

Após inserir os dados solicitados, basta clicar no botão “DIMENSIONAR O BLOCO”, que em seguida irá abrir a próxima tela. Segundo os dados inseridos, o programa realizará o cálculo da armadura principal que conforme a NBR 6118:2014, esta armadura ficará disposta essencialmente (mais de 85%) nas faixas definidas pelas estacas, considerando-se sempre o equilíbrio com as respectivas bielas, sendo assim essa armadura ficará por cima das estacas, em no mínimo 0,85 da área calculada. Além disso, como fala de Oliveira (2009), e por outros vários autores é que essas armaduras sejam concentradas sobre as estacas e não distribuída de modo igual pela largura do bloco. Segundo Lopes (2011) em grandes estruturas com grandes alturas e/ou cobrimento da armadura principal, para evitar fissuras superficiais é necessário o emprego de armadura de pele (lateral). Já Alonso (2010) sugere o uso de armadura de pele nos casos em que a armadura principal tenha diâmetro muito elevado, com a finalidade de reduzir a fissuração. O autor ainda afirma que seu valor pode ser adotado como 1/8 da seção total da armadura principal, em cada face do bloco, logo, no W.&.ARC será adotado a armadura de pele para todos os dimensionamentos realizados conforme a figura 26.

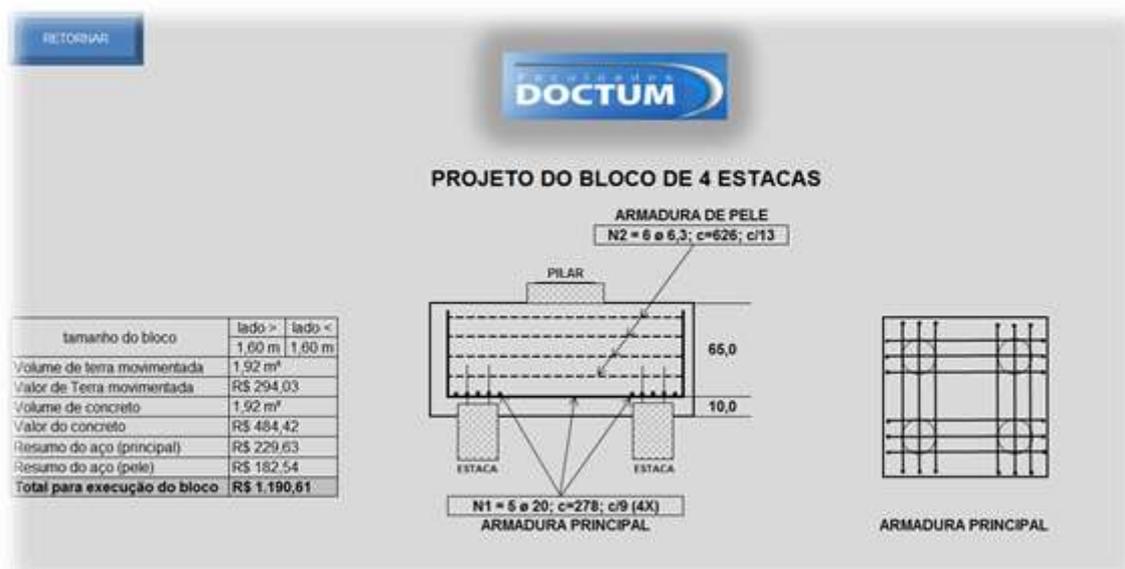
Figura 31 – Tela “Informações dos Dados Calculados” pelo W.&.ARC



Fonte: Programa W.&.ARC – elaborado pelos autores (2019)

Na figura 26, existe a possibilidade de verificar qual armadura melhor se enquadra em seu projeto, na aba destacada de branco, será possível alterar o diâmetro da armadura principal e de pele. Após definir o diâmetro a ser utilizado, basta clicar no botão “DIMENSIONAR O BLOCO”, onde será possível verificar os cálculos dos valores gastos para a execução e o detalhamento do bloco dimensionado conforme figura 27.

Figura 32 – Tela “Projeto e Valor do Bloco Calculado” pelo W.&.ARC



Fonte: Programa W.&.ARC – elaborado pelos autores (2019)

4. ANÁLISE E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Uma vez realizado o dimensionamento das fundações sobre bloco de coroamento sobre duas e quatro estacas, foi feita a comparação entre os resultados do programa e os resultados do método teórico, de modo que foi possível, por meio dos dados obtidos, analisar os custos para o cálculo do aço, volume de concreto e movimentação de solo.

O principal objetivo de se comparar os resultados obtidos nos dois métodos é demonstrar que ambos os cálculos são de utilização no canteiro de obras e que, assim como o método teórico, o programa consegue alcançar os objetivos necessários para o dimensionamento de fundação profunda (bloco de coroamento sobre estacas).

Para um comparativo mais detalhado, foram analisados os custos dos dados obtidos de acordo com a tabela SINAPI, que é indicada como fonte oficial de referência de preços de insumos e custos de composições de serviços dados pelo Decreto 7983/2013, que estabelece regras e critérios para elaboração de orçamentos de referência de obras e serviços de engenharia, contratados e executados com recursos dos orçamentos da União, e pela Lei 13.303/2016, que compõe sobre o estatuto jurídico da empresa pública, da sociedade de economia mista e de suas subsidiárias.

A tabela analisada possui inúmeros dados que auxiliam no orçamento das construções. Dentre eles, o que foi utilizado para o comparativo é o que segue no Quadro 5.

Quadro 5 – Valor Obtido por pesquisa na Tabela SINAPI

SINAPI ABRIL 2019		Concreto Usinado		Escavação	
DESONERADO		Bombeado		Manual	
<i>CA-50</i>	<i>Valor/metro</i>	<i>Fck</i>	<i>Valor/m³</i>	<i>Unidade</i>	<i>Valor</i>
6,3	R\$ 4,86	C20	R\$ 252,30	1 m³	R\$ 153,14
8	R\$ 5,46				
20	R\$ 4,13				
25	R\$ 4,77				

Fonte: Adaptação da tabela SINAPI (Abril de 2019).

Com base no cálculo realizado no dimensionamento teórico e do programa, foram utilizados os dados listados acima para fazer o comparativo dos custos para a construção de um bloco de duas estacas, no entanto, conforme o quadro 6, obtiveram-se os seguintes resultados:

Quadro 6 – Análise dos valores para o bloco de duas estacas

DADOS DO DESENVOLVIMENTO TEÓRICO PARA DUAS ESTACAS				
Tipo de Serviço		Unidade	Valor/Unidade	Valor
Escavação Manual		0,5040 m ³	R\$ 153,14	R\$ 77,18
Concreto Bombeado fck 20 MPa		0,5040 m ³	R\$ 252,30	R\$ 127,16
Cálculo do aço CA-50	Ø 25,00 mm	6,84 metros	R\$ 4,77	R\$ 32,63
	Ø 6,3 mm	24,36 metros	R\$ 4,86	R\$ 118,39
Valor Total				R\$ 355,36
DADOS DESENVOLVIDOS PELO PROGRAMA W.&.ARC PARA DUAS ESTACAS				
Tipo de Serviço		Unidade	Valor/Unidade	Valor
Escavação Manual		0,6720 m ³	R\$ 153,14	R\$ 102,91
Concreto Bombeado fck 20 MPa		0,6720 m ³	R\$ 252,30	R\$ 169,55
Cálculo do aço CA-50	Ø 25,00 mm	7,86 metros	R\$ 4,77	R\$ 37,49
	Ø 6,3 mm	22,30 metros	R\$ 4,86	R\$ 108,38
Valor Total				R\$ 418,33

Fonte: Autores (2019),

E analisando os cálculos de bloco de quatro estacas, alcançaram-se os seguintes resultados:

Quadro 7 – Análise dos valores para o bloco de quatro estacas

DADOS DO DESENVOLVIMENTO TEÓRICO PARA QUATRO ESTACAS				
Tipo de Serviço		Unidade	Valor/Unidade	Valor
Escavação Manual		1,260 m ³	R\$ 153,14	R\$ 192,96
Concreto Bombeado fck 20 MPa		1,260 m ³	R\$ 252,30	R\$ 317,90
Cálculo do aço CA-50	Ø 20,00 mm	36,48 metros	R\$ 4,13	R\$ 150,66
	Ø 6,3 mm	23,44 metros	R\$ 4,86	R\$ 113,92
Valor Total				R\$ 775,44
DADOS DESENVOLVIDOS PELO PROGRAMA W.&.ARC PARA QUATRO ESTACAS				
Tipo de Serviço		Unidade	Valor/Unidade	Valor
Escavação Manual		1,920 m ³	R\$ 153,14	R\$ 294,03
Concreto Bombeado fck 20 MPa		1,920 m ³	R\$ 252,30	R\$ 484,42
Cálculo do aço CA-50	Ø 20,00 mm	55,60 metros	R\$ 4,13	R\$ 229,63
	Ø 6,3 mm	37,56 metros	R\$ 4,86	R\$ 182,54
Valor Total				R\$ 1190,61

Fonte: Autores (2019).

Examinando as informações dos quadros 6 e 7, é possível observar que possui diferentes valores, mesmo assim, o programa W.&.ARC é aceitável aos parâmetros necessários, pois teve como base o livro Urbano Rodrigues (2001), para construção de uma fundação profunda de bloco de coroamento. Ademais, o programa desenvolvido gera economia de tempo e minimiza os erros de cálculos em estrutura de fundações, além de ser uma ferramenta de baixo custo e fácil acesso.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto em questão alcançou os objetivos desejados, desenvolvendo uma ferramenta de baixo custo que gera economia de tempo e reduz erros de cálculos em fundações profundas, com bloco de coroamento de estacas. Além disso, o programa em questão possui uma interface amigável e bem simples, permitindo a inserção de dados de forma fácil e rápida retornando os valores de forma precisa e imediata. Lembrando que a simplicidade do seu uso infere que qualquer profissional, com o mínimo conhecimento a respeito do assunto, terá fácil acesso aos resultados esperados.

Uma vez que o tema fundação profunda é bastante extenso e possui inúmeras variáveis, o programa em questão necessitou ser reduzido, retirando-se alguns aspectos que necessitariam de maior aprofundamento em pesquisas e estudos e que não comprometem o resultado esperado, tais como: cálculo das estacas; cálculo de aterramento; o número de estacas, que se limita a dez; os dados a respeito do solo, pressupondo que já se tenha um ensaio SPT. Ainda assim, o programa W.&.ARC possui algumas vantagens que o difere e o coloca à frente de programas renomados, como *Eberick*, *TQS* e *CypeCAD*. Dentre estas vantagens está o fato de que todo o programa foi desenvolvido com base no *Excel* e com auxílio da linguagem VBA, o que deixa o arquivo de uso muito mais leve, ocupando mínimo espaço, enquanto os programas supracitados necessitam de uma máquina mais avançada para que tenham bom desempenho.

A análise real de custos dos principais componentes de uma fundação profunda, que foi realizada neste trabalho, corrobora para a afirmativa de que os cálculos, tanto no método teórico, quanto no W.&.ARC, têm resultados muito parecidos, que demonstra mínima divergência, ratificando a funcionalidade do programa e dando como satisfatório o resultado final esperado no presente trabalho, além de abrir precedentes para futuras pesquisas relacionadas ao assunto proposto, bem como o aperfeiçoamento da ferramenta elaborada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 6122. Projeto e execução de fundações. 2010.

ALMEIDA, R. V. **Edifício do instituto do câncer do estado do Ceará - dimensionamento das vigas longitudinais do edifício.** 2018. 151 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2018.

ALMEIDA, J. E. G. D. Análise do Processo Executivo de CONTENÇÃO em Estacas Hélice. **Estudo de Caso do Vili Design Residence**, Araruna, 2016. 68.

ARCENO, M. F. Dimensionamento Estrutural de Sapatas e Blocos de Coroamento, Florianópolis, 2018. 200.

BEIFULSS, T. **Estudo comparativo da fundação de um edifício modelo: estaca x tubulão.** 2012. 143 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

CAMARGO NETO, D. L.; ARAÚJO, A. H. **Estudo da Estaca Tipo Hélice Contínua e Estaca Circular de Apoio Aplicadas Em Prédio de Médio Porte na Região de Anápolis**, Anápolis, 2018. 72.

CAMARGO, T. H. D. P. **Estudo Comparativo de custos entre fundações profundas do tipo Hélice Contínua e Pré-Moldada de Concreto Armado**, Varginha, 2016. 136.

COSTA, A. D. C. Estudo de Caso de Viabilidade Técnica e Econômica Entre Fundações. **Tubulão e Estaca Strauss - estudo de caso de um edifício comercial**, Varginha, 2016. 120.

CUNHA, M. R.; MOURA, E. R. **Análise da classificação dos blocos de coroamento sobre estacas quanto à sua rigidez, à luz do CEB-70 e da NBR 6118/2014.** X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, 2018.

FAGUNDES, C. A. **Estudo Comparativo da Fundação de um Edifício Modelo. Estaca Rotativa x Pré Moldada,** Santa Rosa, 2016. 136.

FILHO, P. E. P. **Estacas Pré-Moldadas de Concreto, Procedimentos Executivos,** Montes Claro , 2016. 6.

GEHLEN, D. D. **Dimensionamento e Comparativo entre Estacas Franki, Hélice Contínua e Strauss.** Estudo de Caso, Pato Branco, 2016. 119.

GUEDES, L. F. A.; MORAES MARTINS, M. A.; CAMBRAIA DINIZ , S. R. **Ferramentas Discretas para Projeto Estrutural baseadas no Microsoft Excel,** Juiz de Fora, 2017. 87.

MARANGON, P. M. **Geotecnia de Fundações e Obras de Terra.** Fundações Profundas, Juiz de Fora, 2018. 170.

PIRES, R. A. Estudo Comparativo de Fundações Profundas. **Estaca Hélice Contínua x Estaca tipo Strauss,** Monte Carmelo, Dezembro 2018. 36.

PEREIRA, Caio. **Noções básicas de Fundações.** Escola Engenharia, 2013. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/nocoas-basicas-de-fundacoes/>. Acesso em: 4 de março de 2019.

PROSBT, C. A.; DE AGUIAR, M. F. P.; DE MELO MENDES, G. C. **Análise Comparativo de Métodos de Determinação da Capacidade de Carga em Estacas Hélice Contínua com Ensaios de Prova de Carga Estática Realizados em Uberaba - MG,** Uberaba, Agosto 2018. 9.

RESENDE, R. J.; MARTINS, M. **Estudo Comparativo de viabilidade dos principais tipos de fundações profundas**. Pensar Engenharia, Belo Horizonte, v. 6, p. 23, Janeiro 2014. ISSN 2.

SILVA, M. A. F. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado**. 2005. 242 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

VASCONCELLOS, A. **Estudo comparativo para fundações profundas**. Disponível em: < <http://www.lmsp.ufc.br/arquivos/graduacao/fundacao/apostila/04.pdf>> Acesso em: 17 de Abril de 2019.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações** - Fundações Profundas. Nova ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 342 p. il. Inclui bibliografias.

KROTH, E. B. **Análise do Desempenho de Reforço de Fundações: Estudo de Caso de um edifício comercial na cidade de Lajeado/RS**, Lajeado, Julho 2016. 103.