

FAEX- FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS DE EXTREMA
CURSO DE ENGENHRIA CIVIL
MATHEUS MENDES MARCONDES

**COMPARATIVO DE MÉTODOS DE EXECUÇÃO DE FUNDAÇÃO PROFUNDA
PARA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR**

EXTREMA

2018

MATHEUS MENDES MARCONDES

**COMPARATIVO DE MÉTODOS DE EXECUÇÃO DE FUNDAÇÃO PROFUNDA
PARA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Faculdade de Ciências Sociais e Aplicadas de Extrema-FAEX, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Roberta Moraes Martins.

Coorientador: Prof^o. Leonardo Corrêa Mariano.

EXTREMA

2018



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
FAEX – FACULDADE DE EXTREMA

Em sessão às 17h do dia 11 de Dezembro de 2018 o (a) aluno (a) Matheus Mendes Marconde apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado “**Comparativo de métodos de execução de fundação profunda para edificação residencial multifamiliar**” como requisito para conclusão do Curso de Engenharia Civil, perante uma Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Matheus Mendes Marconde (Aluno (a))

Prof.ª Ma. Roberta Moracs Martins (orientador (a))

Prof. Afonso Henrique Vilela

Mariana Junqueira Paduan

Aprovado (X)
Aprovado com restrições ()
Reprovado ()

Dedico este trabalho aos meus pais,
amigos de curso, namorada e orientadores
pelo apoio nesta longa e difícil jornada e
por compreenderem todo o tempo que foi
dedicado ao mesmo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, e a minha família que me ajudaram e acreditaram que isso tudo seria possível.

A FAEX que sempre demonstrou um carinho e preocupação com seus alunos, sempre nos incentivando e dando a oportunidade de aprendermos com grandes mestres.

Aos meus grandes amigos os quais tive o prazer de conhecer e formar grandes vínculos ao longo do curso.

A minha namorada que sempre esteve ao meu lado.

A todos que indiretamente ou diretamente tiveram participação em minha formação.

RESUMO

Este trabalho tem o intuito de realizar um estudo de caso de viabilidade técnica e econômica, levando em consideração dois métodos de fundação profunda (Strauss e Hélice Contínua) de um edifício residencial multifamiliar.

É feito um levantamento bibliográfico de ambos métodos para realçar o processo de execução, suas vantagens e desvantagens.

Para o estudo de caso, é feita a execução da sondagem, estabelecida pela empresa de sondagens, obtendo assim o conhecimento de qual solo será trabalho.

Após o conhecimento do solo e a obtenção do NSPT em cada metro é realizado o cálculo de capacidade de carga estabelecidos pelos métodos Décourt e Quaresma, Aóki e Velloso e Antunes e Cabral, para Hélice Contínua e Strauss, encontrando assim os metros lineares para cada estaca.

Com o projeto já preparado é feita a comparação técnica, onde encontrou-se o número de dias para execução de cada estaca e as partes financeiras, destacadas pelo orçamento através de cálculos fundamentados para cada método.

Palavras-Chaves: Fundação; Profunda; Hélice contínua; Strauss; viabilidade técnica e econômica.

ABSTRACT

This work intends to carry out a case study of technical and economic feasibility, taking into account two methods of deep foundation (Strauss and Continuous Propeller) of a multifamily residential building.

A bibliographical survey of both methods is made to highlight the execution process, its advantages and disadvantages.

For the case study, the survey is performed, established by the survey company, thus obtaining the knowledge of which soil will be work.

After the knowledge of the soil and the obtaining of the NSPT in each meter is carried out the calculation of the load capacity established by the methods Décourt and Quaresma, Aóki and Velloso and Antunes and Cabral, for Continuous Propeller and Strauss, thus finding the linear meters for each stake .

With the project already prepared the technical comparison is made, where the number of days for execution of each stake and the financial parts, highlighted by the budget through calculations based on each method, were found.

Keywords: Foundation; Deep; Continuous Flight Auger; Strauss; technical and economic feasibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Componentes do tripé usado no ensaio SPT.....	19
Figura 2 - Sapata Isolada.	21
Figura 3 - Sapata associada.	21
Figura 4 - Sapata Corrida.....	22
Figura 5 - Tipos de fundações superficiais: Bloco (a), sapata (b) e radier (c).....	23
Figura 6 - Tipos de fundações profundas.	23
Figura 7 – Tipo de Tubulão.	25
Figura 8 - Tubulão a Céu Aberto.....	26
Figura 9 - Tubulão a ar comprimido.....	26
Figura 10 - Caixaão (Elemento de Fundação Profunda).....	27
Figura 11 - Bate-estaca Strauss	28
Figura 12 - Etapas de execução da Estaca Strauss.	30
Figura 13 - Processo executivo estaca hélice contínua.....	33
Figura 14 - Etapa de Perfuração de uma Estaca Hélice Contínua.	34
Figura 15 - Etapa de Concretagem da Estaca Hélice Contínua.	35
Figura 16 - Etapa de instalação da armadura de uma Estaca Hélice Contínua.	36
Figura 17 - Introduzindo a armadura.....	37
Figura 18 - Taracord CE.....	37
Figura 19 - Relatório de execução de Estacas de Trado Contínuo.....	38
Figura 20 - Sondagem do furo SPT 01.....	47
Figura 21 - Sondagem do furo SPT 02.....	48
Figura 22 - Sondagem do furo SPT 03.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Divisão granulométrica e classificação definida pela NBR6502	15
Tabela 2 - Valores de K e a para o método Aoki-Velloso.....	41
Tabela 3 - Valores de F1 e F2 para o método Aoki-Velloso.....	42
Tabela 4 - Valores de α pelo método Decourt e Quaresma de acordo com tipo de estaca e solo.	43
Tabela 5 - Valores de β pelo método Decourt e Quaresma de acordo com tipo de estaca e solo.	43
Tabela 6 - Valores de K por Decourt e Quaresma.....	43
Tabela 7 - Valores de β conforme método de Antunes e Cabral.....	44
Tabela 8 - Furo 01	51
Tabela 9 - Furo 02	51
Tabela 10 - Furo 03	51
Tabela 11 - Furo 01	52
Tabela 12 - Furo 02	52
Tabela 13 - Furo 03	52
Tabela 14 - Orçamento tabelado para execução dos furos para o método de Estacas Hélice Contínua.	54
Tabela 15 - Totalização dos metros cúbicos de concreto necessários para concretagem das estacas.....	54
Tabela 16 - Preço total para realização de Estacas Hélice Contínua.....	56
Tabela 17 - Orçamento tabelado para execução dos furos para o método de Estacas Strauss.	56
Tabela 18 - Totalização dos metros cúbicos de concreto necessários para concretagem das estacas Strauss.	57
Tabela 19 - Preço dos agregados para o concreto.	58
Tabela 20 - Preço total para realização de Estacas Strauss.	59

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro quadrado
CPT	Ensaio de Cone
CPT-U	Ensaio de Piezocone
EPS	Poliestireno Expandido
FAEX	Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Extrema
Fck	Resistência característica de compressão do concreto
Kg	Kilo grama
kN/m ²	Kilo Newton por metro quadrado
kPa	Kilo Pascal
IFB	Instituto Federal de Brasília
<i>in situ</i>	Investigações locais
<i>in loco</i>	No próprio local
m	Metro
mm	Milímetro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
ml	Metro linear
MPa	Mega Paschoal
N	Índice de Resistência à Penetração
NBR	Norma Brasileira
NSPT	Número de golpes em ensaio de SPT
PMT	Ensaio Pressiométrico
SPT	<i>Standard Penetration Test</i> (Teste de Penetração Padrão)
Tf	Tonelada Força
tf/m ²	Tonelada Força por metro quadrado
Ø	Diâmetro
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo geral	13
1.2	Objetivos específicos	13
1.3	Justificativa	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1.	Conhecimento do Solo	14
2.1.1.	Classificação dos Solos quanto sua origem e granulometria	14
2.1.2.	Método Tátil-visual	15
2.2.	Conceitos Básicos Para Investigação de Subsolo	16
2.2.1.	Programa e processos para Investigação do Subsolo	16
2.2.2.	Sondagem SPT (<i>Standard Penetration Test</i>)	18
2.2.3.	Procedimentos	18
2.3.	Fundações	19
2.3.1.	Fundações superficiais (ou diretas)	20
2.3.1.1.	Sapata	20
2.3.1.2.	Bloco	22
2.3.1.3.	Radier	22
2.3.2.	Fundações Profundas (ou indiretas)	23
2.3.2.1.	Estacas	24
2.3.2.2.	Tubulões	24
2.3.2.3.	Caixões	27
2.4.	Estacas tipo Strauss	27
2.4.1.	Vantagens e Desvantagens	28
2.4.2.	Processo Executivo	29
2.4.2.1.	1ª Etapa - Perfuração	30
2.4.2.2.	2ª Etapa - Concretagem	31

	2.4.2.3.	Características principais	31
2.5.		Estacas tipo Hélice Contínua.....	31
	2.5.1.	Vantagens e Desvantagens.....	32
	2.5.2.	Processo Executivo	33
	2.5.2.1.	1ª Etapa - Perfuração.....	33
	2.5.2.2.	2ª Etapa - Concretagem da Estaca	34
	2.5.2.3.	3ª Etapa – Instalação da Armadura	36
	2.5.3.	Características principais das Estacas	38
2.6.		Capacidade de carga para fundações profundas por estacas	39
	2.6.1.	Métodos semiempíricos	40
3		ESTUDO DE CASO	45
	3.1.	Localização e informações da obra	45
	3.2.	Sondagem SPT no local.....	45
	3.3.	Projeto estrutural	50
	3.4.	Profundidade das Estacas	50
	3.4.1.	Profundidas para Hélice Contínua:	51
	3.4.2.	Profundidades para Strauss:	51
	3.5.	Armaduras	53
	3.6.	Cotação de preços para execução	53
	3.7.	Orçamento Estaca Hélice Contínua.....	53
	3.7.1.	Orçamento Estaca Strauss	56
	3.8.	Comparação de Dias e Viabilidade Técnica e Financeira	59
4.		CONCLUSÃO	61
		REFERÊNCIAS	63
		ANEXOS.....	

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, ainda acontecem muitos desastres construtivos em edificações, na maioria deles ocasionados por recalques excessivos (quando o recalque acaba sendo maior do que o normal e os elementos da fundação não estão projetados devidamente para suportá-lo, ocasionando em trincas, fissuras e até seu desmoronamento). Infelizmente, estes desastres, muitas das vezes acabam em mortes, problemas nas construções vizinhas e desabrigo aos sobreviventes. A solução para evitar tais desastres, está aplicada diretamente à escolha correta de todas as diretrizes de um projeto de fundação, a qual não deve ser ignorada nem subestimada.

No início do século XX, com o advento do concreto armado, permitindo assim a construção de edifícios altos de cargas concentradas, começaram as obras no Rio de Janeiro e em São Paulo, apoiando-se sobre fundações diretas, do tipo de sapatas de concreto armado ou bloco simples, porém, não há registros sobre quais métodos ou tipos de sondagens foram utilizados (VARGAS, 1998).

O Brasil é um país onde se tem uma grande diversidade geológica-geotécnica dos solos, fazendo com que existam diversos métodos para dimensionamento de uma fundação. Entretanto, na maioria das vezes, há uma carência de conhecimento técnico do proprietário da obra, quando o assunto é a escolha do tipo de fundação, buscando sempre pelo método mais econômico e prático. Sendo assim, o engenheiro responsável pela obra deve estar atento as especificações e alertar ao proprietário qual o método mais seguro e viável a ser utilizado.

A importância em realizar um projeto de fundação profunda adequado às condições geológicas-geotécnicas dando objetividade ao método de fundação escolhido e obedecendo sua capacidade de carga trará segurança e vida longa ao edifício, conseqüentemente atendendo a fatores técnicos e econômicos.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em abordar aspectos técnicos e financeiros sobre dois tipos de fundações profundas após a execução da investigação de subsolo adequando-se às informações geológicas geotécnicas do terreno.

1.2 Objetivos específicos

- a) Apresentar os conceitos básicos sobre solos, investigação de subsolo e a utilização de sondagem tipo SPT;
- b) Apresentar de forma breve os conceitos sobre os tipos de fundações dando maior destaque aos dois tipos referentes a esse estudo: Strauss e Hélice Contínua;
- c) Apresentar métodos executivos para estacas Strauss e Hélice Contínua;
- d) Apresentar os métodos de estimativa de capacidade de carga de Aoki e Velloso, Antunes e Cabral, e Décourt e Quaresma, para o dimensionamento de fundações profundas com execução de estacas tipo moldadas “*in loco*” dos tipos Hélice Contínua e Strauss;
- e) Compilar dados e propor um dimensionamento de fundações a partir do método com as melhores condições técnicas e financeiras;
- f) Elaborar o projeto de fundações;
- g) Analisar a execução de acordo com a viabilidade técnica e financeira.

1.3 Justificativa

A justificativa para a escolha deste trabalho tem como fator principal as constantes falhas e desastres em fundações profundas por todo o Brasil, destacando as constantes dúvidas e dificuldade num dimensionamento de um projeto de fundação, levantando assim um estudo para confeccionar um material teórico e objetivo que traga a realidade prática e ajude também na formação de profissionais capacitados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados assuntos referentes ao levantamento teórico e prático para um estudo de caso de fundação profunda.

2.1. Conhecimento do Solo

Solo é a camada superficial da crosta terrestre, resultado da decomposição das rochas, através da ação dos agentes intempéricos ao longo do tempo geológico. Vale salientar que o homem tem contato com o solo desde sua existência, porém só começou a ser estudado de verdade a partir do século XVII, onde surgiram os primeiros trabalhos sobre o comportamento quantitativo do solos, elaborados por Vauban (1687), Coulomb (1773), e outros.

De acordo com Ortigão (2007), os solos, como material de construção e de fundação têm grande importância para o engenheiro civil. Nas barragens de terra, nas fundações de estruturas, o solo – igualmente ao concreto e o aço – está sujeito a esforços que tendem a comprimi-lo e a cisalhá-lo, provocando deformações e ocasionando possíveis rupturas.

O conhecimento do solo, no ramo civil, se torna necessário e importante para a classificação dos parâmetros e diversidades de cada tipo de fundação.

2.1.1. Classificação dos Solos quanto sua origem e granulometria

Quanto a sua origem, como resultado do intemperismo sobre as rochas, os solos se dividem em dois grandes grupos: solos residuais e solos transportados.

De acordo com Pinto (2006), solos residuais se formam no mesmo local de origem (*in situ*) da rocha-mãe. Para que ocorram, é necessário que a velocidade de remoção do solo seja menor que a velocidade de decomposição da rocha. Os solos transportados são aqueles levados a um local por algum agente transportador, sendo eles: água, vento, gravidade e geleiras.

De acordo com a Norma Brasileira 6502 (ABNT, 1995), o solo é classificado através de sua análise granulométrica em laboratório por peneiramento, divididos em: solos granulares e solos finos, representados respectivamente por argila, silte, areia e pedregulho, como-apresentado na tabela 1.

Tabela 1 - Divisão granulométrica e classificação definida pela NBR6502

Classificação	Diâmetro dos grãos (mm)
Pedregulho	60 - 2,0
Areia grossa	2,0 - 0,6
Areia média	0,6 - 0,2
Areia fina	0,2 - 0,06
Silte	0,06 - 0,002
Argila	< 0,002

Fonte: Manual do Sondador, (2013).

2.1.2. Método Tátil-visual

Referindo-se ao estudo de fundações, a classificação granulométrica é muito utilizada pelo método Tátil-visual para a futura execução da sondagem tipo SPT (*Standart Penetration Test*).

Padronizado pela Norma Brasileira 6484 e pela Norma Brasileira 7250, o método tátil-visual corresponde ao uso da mão no campo para sentir as propriedades do solo e defini-las de acordo com a sua aspereza. A identificação do tipo de solo nesse caso, é seguido por três etapas:

- Segurar a amostra de solo nas mãos;
- Separar os grãos visíveis a olho nu daqueles que não são; e
- Analisar se os grãos visíveis correspondem à areia ou pedregulho.

O maior monte definirá o nome do solo, por exemplo: se a maior granulometria for de areia, o solo levará o nome como areia, se for pedregulho, levará o nome de pedregulho. Contudo, o solo ainda pode levar um sobrenome, que será no caso das partes serem iguais, por exemplo: se houver a maior parte de pedregulho e uma boa parte ainda de areia, o solo se

chamará pedregulho arenoso, se for ao contrário, areia pedregulhosa, atribuindo assim como um adjetivo.

2.2. Conceitos Básicos Para Investigação de Subsolo

Para uma fundação ser bem executada, deve-se apresentar em primeiro lugar uma investigação de subsolo, permitindo assim conhecer as características que o compõe. Um homem, talvez sem conhecimento teórico nenhum, mas com experiência de vida, ao se deparar com um solo encharcado ou úmido sabe que se fincar uma simples estaca de madeira ela não ficará imóvel. Por isso é normal ouvir de profissionais experientes que essa investigação é dispensável, porém a ausência desse processo pode comprometer toda a estrutura de uma fundação e causar grandes prejuízos financeiros ao proprietário, e nos mais graves casos, aos vizinhos. Segundo Schnaid (2000), o investimento na execução de reconhecimento, no Brasil, gira em torno de 0,2% a 0,5% do preço total da obra, ou seja, não vale arriscar todo um projeto por algo que muitas das vezes se passa despercebido.

2.2.1. Programa e processos para Investigação do Subsolo

Para Velloso (2012), o primeiro passo para uma investigação adequada do subsolo é a definição de um programa, que definirá as etapas da investigação e os objetivos a serem alcançados. As etapas são:

- a) investigação preliminar;
- b) investigação complementar ou de projeto;
- c) investigação para fase de execução.

A investigação preliminar se define por conhecer as principais características do subsolo, por meio de sondagens a percussão ou se houver o conhecimento de possível de presença de blocos de rocha, é necessário sondagens mistas. Cada furo, é geralmente regular, determinado a cada 15 ou 20 metros.

Na investigação complementar, são realizados ensaios *in situ* (investigações locais), que são caracterizados por revelar as propriedades mais importantes do solo, de acordo com o comportamento das fundações. Nesta etapa é realizada mais sondagens para que o total esteja dentro das exigências da Norma Brasileira 6122 (ABNT, 1996), a qual afirma que o tipo e a quantidade das investigações a serem realizadas dependem das características de cada obra, levando em consideração as características geológicas e os tipos de magnitude dos esforços atuantes. Após essas etapas, realiza-se sondagens mistas ou especiais para o estudo de amostras indeformadas que podem ser utilizadas em laboratório, porém, nos projetos de fundações os ensaios de laboratórios são mínimos e considerados como especiais, prevalecendo os ensaios *in situ*, que podem ser classificados a seguir como:

- Métodos diretos: Dá-se pela introdução de ferramentas em profundidade ao longo do perfil do solo analisado, proporcionando acesso para descrição, obtenção de índices e coleta de amostras ao longo de uma perfuração;
- Métodos semidiretos: Também realizado por introdução de ferramentas em profundidade ao longo do perfil do solo analisado, porém sem a coleta de amostras e informações do solo a não ser por correlações indiretas;
- Métodos indiretos: O levantamento das características do subsolo é feito por meio de equipamentos eletromagnéticos sem a necessidade de utilização de ferramentas cravadas a certa profundidade.

Enfim, a investigação para fase de execução, é a fase final que visa confirmar as condições anteriormente levantadas de acordo com as tensões geostáticas por meio das sondagens e partir para o processo de escolha do tipo de fundação, a empresa que executará os serviços, etc.

Citado anteriormente, Velloso (2012) define os principais processos de investigação do subsolo para projeto de fundações como:

- a) Poços;
- b) Sondagens a trado;
- c) Sondagens a percussão com SPT;
- d) Sondagens rotativas;
- e) Sondagens mistas;
- f) Ensaio de cone (CPT);
- g) Ensaio pressiométrico (PMT).

Para casos especiais, quando se precisa de uma análise mais detalhada do terreno, poderão ser utilizados os ensaios CPT e CPT-U.

Dentre os citados acima, o foco neste trabalho é o SPT (*Standard Penetration Test*), sendo o mais utilizado mundialmente, o qual consiste numa sondagem de simples reconhecimento à percussão na qual é possível medir a resistência do solo ao longo da profundidade perfurada (QUARESMA *et al.*, 1998).

2.2.2. Sondagem SPT (*Standard Penetration Test*)

As sondagens a percussão são perfurações capazes de ultrapassar o nível d'água e perfurar solos compactos e maduros.

De acordo com a Norma Brasileira 6484 (ABNT, 2001), a Sondagem SPT se baseia na perfuração e cravação dinâmica de um amostrador padrão, a cada metro, obtendo resultados de amostras secas capazes de identificar o tipo de solo, índice de resistência (N), o nível do lençol freático e amostra, estes apresentados no boletim de sondagem.

Para Dantas Neto (2008), as vantagens que esse ensaio proporciona em relação aos demais, são: seu baixo custo, a simplicidade do equipamento e os dados levantados de uma forma segura para realização de projetos de fundações.

2.2.3. Procedimentos

Antes de realizar a execução da sondagem, precisa-se determinar as posições dos pontos que serão sondados e sua quantidade, que serão mensurados de acordo com o tipo de obra e a identificação dada ao terreno impostas pela Norma Brasileira 8036 (ABNT, 1983).

Segundo a norma, o mínimo estabelecido, são dois furos para uma área de 200m² de edificação que será projetada, e para 200m² a 400m², três furos. Para áreas até 1.200m², considera-se uma sondagem a cada 200m², e áreas até 2.400m² considera-se uma sondagem a cada 400m². Superando 2.400m² é necessário a elaboração de um plano individual pelo projetista responsável.

Conforme a figura 1, para a execução da sondagem, a cravação do amostrador padrão é feita através de quedas sucessivas de um martelo com 65 kg e lançado a uma altura de 75cm. Este procedimento é realizado até a penetração de 45 cm do amostrador padrão no solo. A cada 15 cm, é contabilizado o número de golpes e a soma dos últimos 30 cm é determinado o Índice de Resistência à Penetração (N), sendo analisado por meio de fração onde no numerador é colocado o número de golpes e no denominador a profundidade cravada com os golpes, por exemplo, 1/48.

Após a coleta da amostra, elas devem ser descritas de forma tátil-visual.

Quando o solo for considerado argila e acima do nível d'água, a escavação é feita por meio de trados, ao contrário, se for areia será por meio de circulação de água.

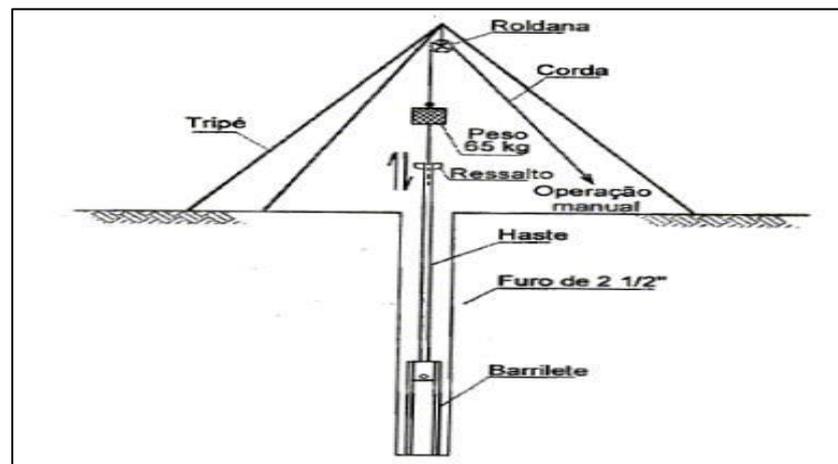


Figura 1 - Componentes do tripé usado no ensaio SPT.

Fonte: NBR 6484 (ABNT).

2.3. Fundações

A estrutura de uma edificação é um sistema capaz de absorver e transmitir ao solo distintos carregamentos de qualquer construção, garantindo segurança, durabilidade e confiabilidade. Sendo assim, a estrutura é subdividida em superestrutura, considerada como a parte do edifício acima do solo, e a infraestrutura que juntamente ao solo, corresponde a fundação.

Para determinar a escolha de um tipo de fundação, está envolvido fatores econômicos, técnicos e geológicos geotécnicos do solo de assentamento.

De acordo com a Norma Brasileira 6122 (ABNT, 2010), as fundações são divididas em dois tipos: fundações diretas ou superficiais e fundações profundas.

2.3.1. Fundações superficiais (ou diretas)

Segundo a norma vigente Norma Brasileira 6122/2010, fundação direta ou superficial é considerada como elemento de fundação na qual a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Com isso, enquadram-se nesta classificação: sapata, bloco e radier conforme Figura 2.

2.3.1.1. Sapata

Elemento de fundação de concreto armado, de altura menor que o bloco que utiliza da armadura para resistir os esforços de tração. Em fundações diretas, contamos com 3 tipos de sapatas: isolada, associada e corrida Norma Brasileira 6122, (ABNT, 2010).

- a) Sapata isolada: É um dos tipos de fundações superficiais mais simples e comum na construção civil. Sua função é suportar a carga de apenas um pilar ou coluna. Geralmente com o formato quadrado ou retangular, mas também podem ser circular, etc (PEREIRA, 2018).



Figura 2 - Sapata Isolada.

Fonte: FazFacil (2018).

b) Sapata associada (Figura 3): Recebe parte dos pilares da obra que não são alinhados, diferente da sapata corrida. São utilizados quando a posição de duas sapatas corridas ficarem muito próximas devido a falta de espaço ou opção estrutural.

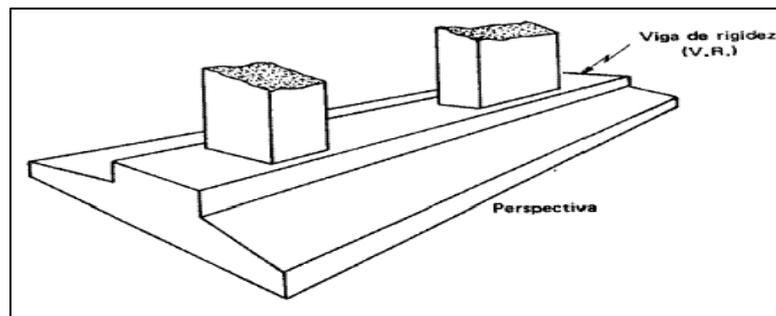


Figura 3 - Sapata associada.

Fonte: Pereira (2018).

c) Sapata corrida (Figura 4): Feita para suportar cargas distribuídas linearmente, como muros, paredes, etc. Geralmente são chamadas de baldrame.

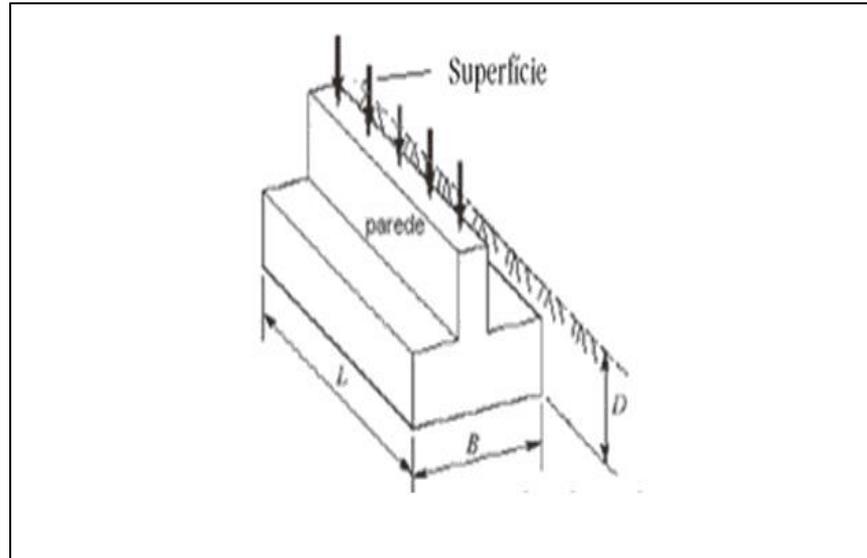


Figura 4 - Sapata Corrida.

Fonte: Pereira (2018).

2.3.1.2. Bloco

Elemento de fundação de concreto simples, capaz de resistir às tensões de tração somente pelo concreto, sem a necessidade da utilização de armadura (VELLOSO, 2012).

2.3.1.3. Radier

É uma fundação a qual se assemelha a uma placa de concreto, a qual recebe todos os pilares ou carregamentos distribuídos da obra (VELLOSO, 2012).

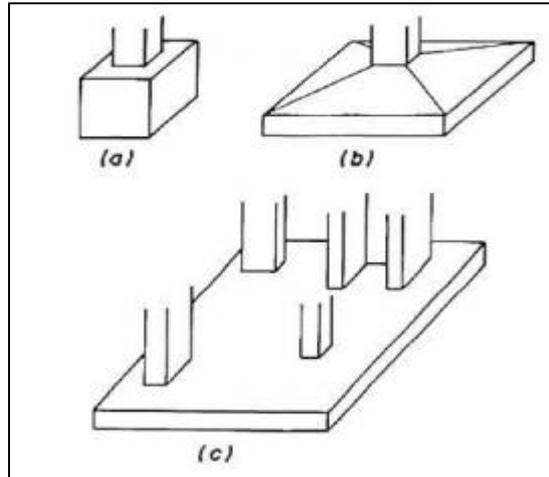


Figura 5 - Tipos de fundações superficiais: Bloco (a), sapata (b) e radier (c)

Fonte: Adaptado de Velloso, (1998)

2.3.2. Fundações Profundas (ou indiretas)

A Norma Brasileira 6122 (2010), define fundação profunda como aquela que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, e que está assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo três metros, salvo justificativa. Com isso, enquadram-se nas fundações profundas as estacas, os tubulões e os caixões, conforme Figura 6.

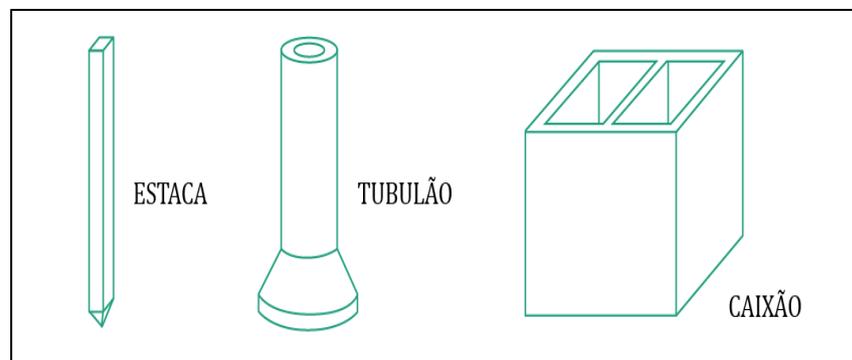


Figura 6 - Tipos de fundações profundas.

Fonte: Adaptado de Google imagens, (2018).

2.3.2.1. Estacas

As estacas (Figura 6) são elementos esbeltos, implantados no solo por meio de percussão ou pela previa perfuração do solo com posterior concretagem (JOPPERT JR., 2007).

De acordo com a Norma Brasileira 6122 (2010), os tipos de materiais das estacas podem ser: de madeira, de metal, de resina, de solo cimento, de areia e brita, de concreto pré-moldadas e de concreto moldadas “*in loco*”.

Além da classificação das estacas pelo material utilizado, Velloso (2010) separa as estacas profundas em dois grupos de acordo com seu processo executivo. Classificam-se como estacas cravadas aquelas “de deslocamento”, as quais tem o solo deslocado horizontalmente gerando espaço para a cravação da mesma. As estacas escavadas são atribuídas como “sem deslocamento”, fazendo com que o solo seja retirado para geração de um fuste o qual será preenchido por concreto.

De acordo com Décourt *et al.* (1998), as estacas serão executadas inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem a necessidade de descida de pessoas.

Para Hachich (2002), a evolução de estacas moldadas “*in loco*”, como as estacas do tipo hélice contínua a outras técnicas consagradas como Strauss, Franki e Cravada (pré-moldada), se dá pelo aumento da capacidade dos equipamentos e evolução das ferramentas eletrônicas, tornando possível a monitoração em tempo real, gerando maior segurança e qualidade da estaca durante sua execução.

As estacas moldadas “*in loco*” acabam apresentando muitas vantagens em relação às cravadas, como por exemplo: baixo nível de barulho e vibração durante a execução.

2.3.2.2. Tubulões

Os tubulões (Figura 7), são elementos de fundação onde a carga é transmitida pela base (resistência de ponta). Caracteriza pela descida de operários em algumas fases de sua execução. O operário pode participar desde a escavação do fuste ou apenas da fase de alargamento de base (há ainda o caso em que o alargamento de base é feito por equipamento e

o operário participa apenas do preparo e limpeza da base para concretagem (VELLOSO, 2012).



Figura 7 – Tipo de Tubulão.

Fonte: Daldegan (2017).

Na execução dos tubulões, pode ser necessário o uso de revestimento, separando os em tubulões sem revestimento e tubulões com revestimento (camisa) metálico ou de concreto.

Os tubulões se separam em dois tipos: tubulões a céu aberto e os que empregam ar comprimido.



Figura 8 - Tubulão a Céu Aberto

Fonte: Pereira, (2018).



Figura 9 - Tubulão a ar comprimido

Fonte: Geforce, (2018).

2.3.2.3. Caixões

Os caixões são considerados elementos de fundação de seção quadrada ou retangular têm suas paredes laterais pré-moldadas. A execução deste elemento se deve por meio de descida ou implantação no subsolo por meio de escavação na parte interna até encontrar a profundidade adequada para seu apoio (VELLOSO, 2012).

Para o estudo de caso referente a este trabalho, tem-se a necessidade da elaboração de um projeto de fundações profundas moldadas “*in loco*”, comparando dois tipos de estacas escavadas: estacas Strauss e Hélice Contínua. Seguindo essa linha de raciocínio, nos dois próximos itens serão argumentados as características e os métodos executivos das estacas recém citadas.

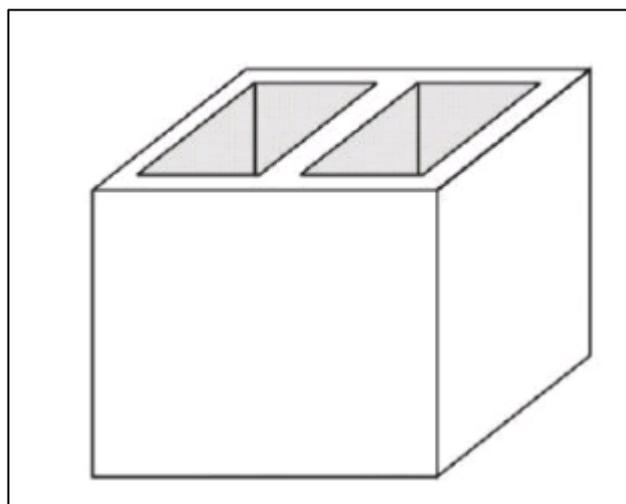


Figura 10 - Caixão (Elemento de Fundação Profunda)

Fonte: Neto, (2014).

2.4. Estacas tipo Strauss

As estacas do tipo Strauss são caracterizadas por serem moldadas no local após perfuração do solo. Seu material é composto por um tripé com guincho, um pequeno pilão,

uma ferramenta de escavação e tubos de revestimento, mais conhecido como bate-estaca Strauss (Figura 11).

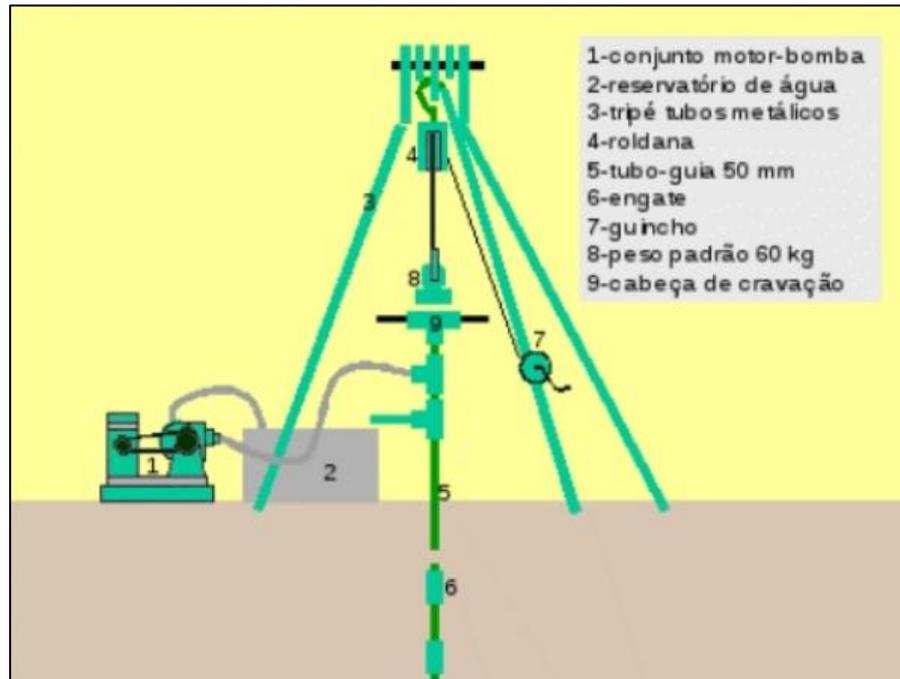


Figura 11 - Bate-estaca Strauss

Fonte: <https://pt.slideshare.net/valimjulia/estaca-strauss>.

É o tipo de fundação mais antiga por escavação mecânica que se têm conhecimento. Foram desenvolvidas com o objetivo de substituir estacas pré-moldadas que produzem fortes vibrações e distúrbios ao solo.

No Brasil, tornou-se bastante utilizada após a Segunda Guerra Mundial (ABMS/ABEF, 1999).

2.4.1. Vantagens e Desvantagens

As vantagens que se pode obter na realização das Estacas Tipo Strauss são:

O equipamento é leve e fácil de ser usado, o que possibilita sua utilização em lugares difíceis, com terrenos acidentados ou ainda dentro de construções já existentes;

- a) Permite a verificação do solo, podendo ser vistos matacões, corpos estranhos, etc;
- b) Importante em regiões distantes por apresentar uma maior facilidade de locomoção.

Entretanto, como desvantagem, temos:

- a) Não é recomendável quando se trabalha abaixo do lençol freático, devido ao risco de estrangulamento do fuste;
- b) Produz muita lama;
- c) Capacidade de carga baixa. Uma estaca pré-moldada pode ter até o dobro de capacidade de carga de uma estaca Strauss;
- d) Pode gerar trincas nas fundações vizinhas pela força exercida nos golpes;
- e) Baixa produção, em média 30 metros lineares produzidos por dia;
- f) Ruídos ensurdecadores, atrapalhando a vizinhança;
- g) Não apresenta um controle de qualidade das estacas por ser um equipamento ultrapassado (PEREIRA, 2013).

2.4.2. Processo Executivo

O processo executivo da Estaca Tipo Strauss é dividido em duas etapas (Figura 12).

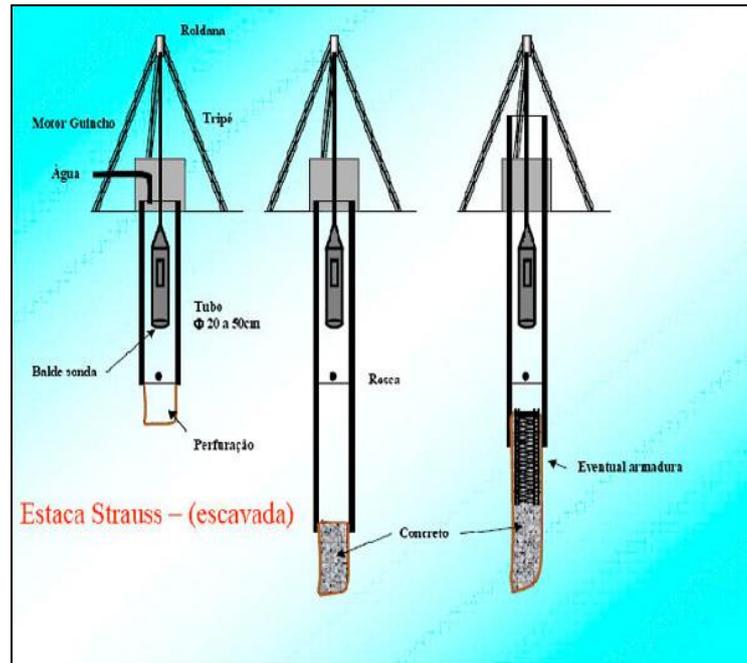


Figura 12 - Etapas de execução da Estaca Strauss.

Fonte: <http://blog.construir.arq.br/estaca-strauss/>.

2.4.2.1. 1ª Etapa - Perfuração

Instalado o equipamento no local, dá-se início aos trabalhos de perfuração com o auxílio de um soquete, que atinja profundidade de 1 a 2 metros. Após a abertura do furo, é colocado o primeiro tubo de revestimento, denominado “coroa”. A escavação é realizada através da introdução de uma piteira ou soquete que retira o solo do tubo por meio de golpes sucessivos. O operador estará responsável por manobrar a sonda (piteira) em movimentos verticais, com o objetivo de ir cortando o terreno com a ajuda de água, a qual será lançada de forma manual dentro e fora da tubulação. Assim é retirado a sonda e o descarregamento do material escavado para limpeza. A escavação é realizada até a profundidade indicada no projeto.

A concretagem é autorizada quando a piteira possui dificuldades para entrar no solo, ocorrendo geralmente com SPT 20 (NETO, 2008).

2.4.2.2. 2ª Etapa - Concretagem

De acordo com (Fundações Teoria e Prática), após a limpeza total, o soquete é posicionado acima do tubo. O concreto usinado é lançado através do funil dentro do tubo, formando uma coluna de aproximadamente 1 m em seu interior, o qual é apiloado com o soquete. Este procedimento é feito com o objetivo de formar uma espécie de bulbo na ponta da estaca, também conhecido como “cebola”.

Na etapa de realização do fuste, o concreto usinado é lançado dentro do tubo e a medida que é apiloado o tubo vai subindo com a ajuda do guincho. Para que tudo ocorra bem e não haja contato do soquete com o solo lateral durante o apiloamento, é necessário a utilização de uma coluna de concreto de 6 metros de altura.

A concretagem deve seguir até um diâmetro considerado acima da cota de arrasamento da estaca, sendo cortado para o processo de preparo da cabeça.

Antes de completar a concretagem, nos dois últimos metros da estaca, será colocada a armadura.

2.4.2.3. Características principais

Produtividade: 30 metros diários.

Capacidade de carga: 20 a 100 tf.

Profundidade máxima: 20 a 25 m.

2.5. Estacas tipo Hélice Contínua

A Norma Brasileira 6122 (2010) define estaca do tipo hélice contínua como estaca de concreto moldada “*in loco*”, executada através da cravação de uma hélice ao solo com trado contínuo injetando concreto pela própria haste central do trado, simultaneamente a sua retirada. A armação é colocada após a concretagem.

A Estaca Hélice Contínua (CFA – *Continuous Flight Auger*) foi desenvolvida nos Estados Unidos na década de 50, porém só na década de 70 começaram a ser de fato utilizadas. No Brasil, estima-se que foi introduzida no final de década de 80.

Hoje, a Estaca Hélice Contínua é a mais utilizada no Brasil. Os equipamentos conseguem perfurações com diâmetros de 1,20 metros atingindo profundidades em torno de 25 metros em solos com número de golpes em ensaio de SPT (NSPT) superior a 50.

A grande demanda de mercado no Brasil pela execução de fundações profundas por estacas se deve à rapidez na execução e a não vibração e distúrbios aos vizinhos, o que trouxe um avanço no conhecimento tecnológico gerando produções de perfuratrizes hidráulicas e sistemas de monitoramento nacionais.

2.5.1. Vantagens e Desvantagens

As grandes qualidades e fatores que evidenciam o grande uso deste tipo de estacas, são:

- a) Não provoca distúrbios ou vibrações no solo às construções vizinhas;
- b) Elevada produtividade, devido a grande maioria padronizar os diâmetros das estacas (menos em terrenos de matações e rochas) e economia devido ao tempo reduzido de obra;
- c) Não causa descompressão do terreno durante sua execução ;
- d) Um equipamento pode perfurar até 400 metros de estaca por dia, dependendo das condições do terreno.

Entretanto, como todo tipo de método, possui suas desvantagens, tais como:

- a) É necessário que o terreno seja plano para atender a fácil locomoção e grande porte do equipamento;
- b) Devido a necessidade de bombeamento do concreto, é necessário ter uma central de concreto perto da obra para garantir a maior produtividade deste processo; e
- c) Para que haja compensação financeira no processo escolhido, deve-se ter um número mínimo de estacas (NETO, 2008).

2.5.2. Processo Executivo

O processo executivo da estaca tipo hélice contínua é dividido em três etapas (Figura 13).

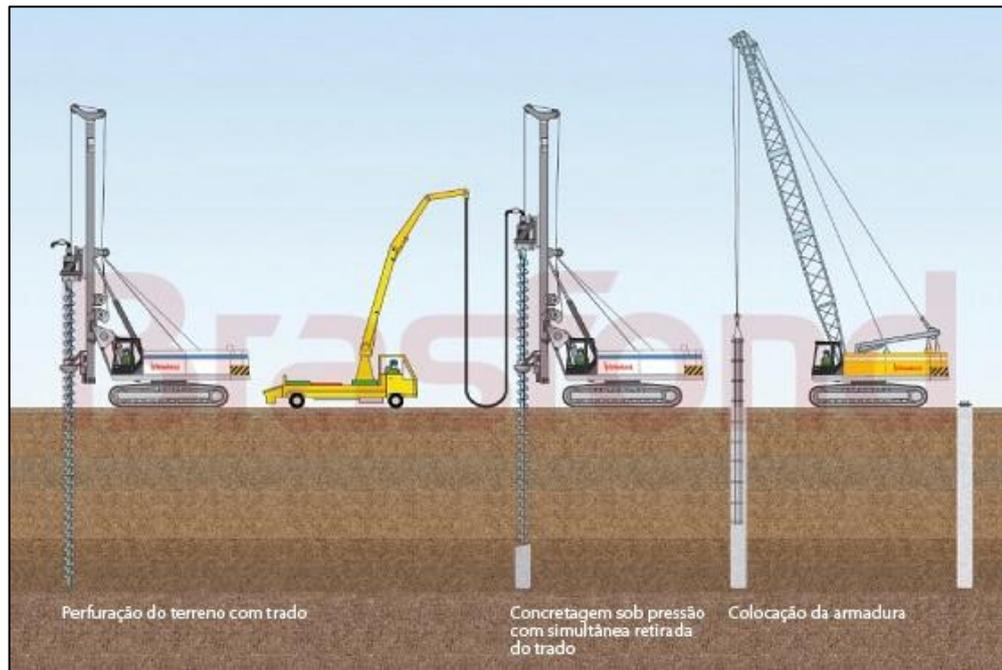


Figura 13 - Processo executivo estaca hélice contínua.

Fonte: <https://sites.google.com/site/fundacoesunianchieta/com-palavra/introducao-e-tecnica>.

2.5.2.1. 1ª Etapa - Perfuração

A Perfuração (Figura 14) é cravado no solo o trado helicoidal com velocidade controlada de forma contínua até a cota especificada no projeto, sendo aplicado pelo torque apropriado para vencer a resistência do solo gerado pelos motores hidráulicos na extremidade superior do trado.

O trado helicoidal é um conjunto que corresponde a uma haste de perfuração a qual é composta por uma hélice espiral desenvolvida em torno de um tubo central, equipada com dentes na extremidade inferior para que haja a penetração no solo.

A única força que atua no processo de perfuração é o peso próprio da hélice. A perfuração ocorre de forma contínua, sem a retirada da hélice do terreno para não permitir alívio ao mesmo, tornando assim, um método de eficiência para diversos tipos de solos.

Tarôs *et. al* (1997) afirma que a produtividade da perfuração pode variar de 150 a 400 metros por dia dependendo de alguns fatores como: diâmetro da hélice, profundidade da estaca, tipo e resistência do terreno e torque do equipamento.

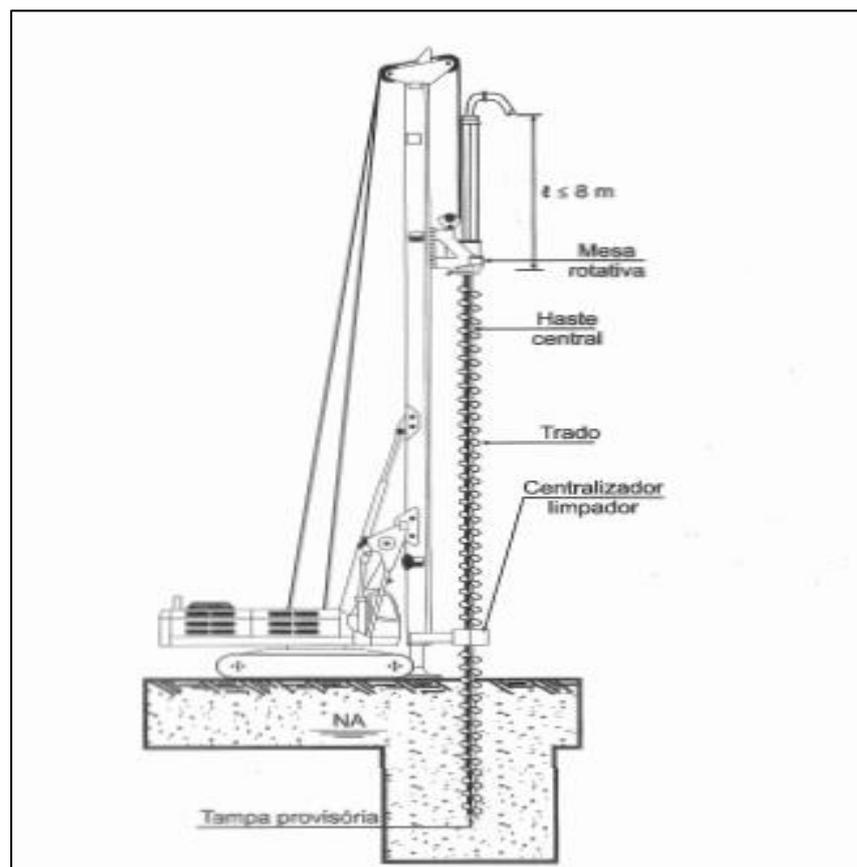


Figura 14 - Etapa de Perfuração de uma Estaca Hélice Contínua.

Fonte: Manual de execução de fundações e geotécnica – Práticas recomendadas – ABEF.

2.5.2.2. 2ª Etapa - Concretagem da Estaca

A Concretagem da Estaca (Figura 15), após atingir a profundidade imposta pelo projeto, é feita a concretagem e retirada simultaneamente da hélice, sendo bombeado por dentro da alma do trado preenchendo o local deixado pela perfuração. A pressão e velocidade

com que se ocorre a concretagem deverão ser controladas pela cabine do equipamento para que todo espaço deixado pela hélice seja preenchido por concreto, evitando assim danos futuros as estacas.

De acordo com as normas vigentes, é recomendado que seja extravasado cerca de 20 m³ de concreto para se ter a certeza que não haja bolhas de ar ou solo misturado.

O concreto a ser utilizado, é imposto pela norma Norma Brasileira 6122 (2010) e deve seguir algumas exigências:

- Consumo de cimento superior a 400 Kg/m³;
- Slump igual a 22 ± 3 cm;
- Fator água/cimento $\leq 0,6$;
- % de argamassa em massa $\geq 55\%$;
- Agregados miúdos (brita zero);
- Traço tipo bombeado;
- $F_{ck} \geq 20$ Mpa.

De acordo com Tarozzo *et. al* (1997), é possível o arrasamento da estaca abaixo da superfície do terreno, porém deve atentar-se para as características de segurança do furo na parte não concretada e a colocação da armação.

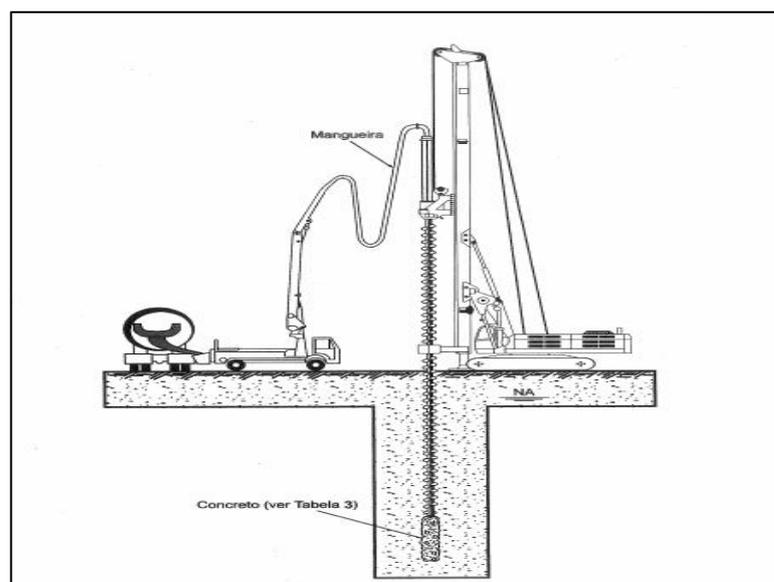


Figura 15 - Etapa de Concretagem da Estaca Hélice Contínua.

Fonte: Manual de execução de fundações e geotécnica – Práticas recomendadas – ABEF.

2.5.2.3. 3ª Etapa – Instalação da Armadura

A instalação da armadura (Figura 16), (em forma de gaiola) só deve ser realizada após a concretagem do fuste, por gravidade, de forma manual pelos operários com a ajuda de alguns equipamentos que não interfiram na colocação, como vibradores e pilões para facilitar a descida (Figura 17).

A Norma Brasileira 6122 (2010) salienta que as estacas submetidas apenas aos esforços de compressão não precisam da armação, ficando a critério do projetista.

Velloso (2010) recomenda a instalação de armações com profundidades que podem variar de 12 a 18 metros para estacas que possuem esforços transversais ou de tração. Entretanto, essas estacas devem ser armadas com espirais ao invés dos estribos e evitar emendas por transpasse.

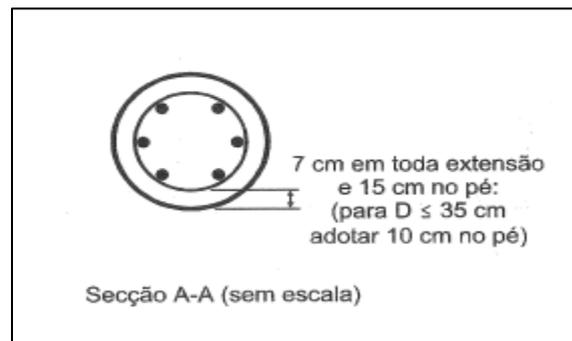


Figura 16 - Etapa de instalação da armadura de uma Estaca Hélice Contínua.

Fonte: Manual de execução de fundações e geotécnica – Práticas recomendadas – ABEF.



Figura 17 - Introduzindo a armadura.

Fonte: <https://sites.google.com/site/fundacoes/home222>.

Na realização da perfuração e concretagem, todo o processo é monitorado por um computador chamado Taracord CE (Figura 18). Ele é capaz de informar dados como: Profundidade, velocidade de rotação da mesa rotativa, torque, inclinação da torre, pressão de concreto e volume do concreto gasto. Assim, todos os dados levantados pelo computador são gerados através de um relatório, que pode ser acompanhado em tempo real e compatível também à smartphones. Além disso, o relatório informa dados do cliente, números e diâmetros das estacas, início e fim de cada perfuração e total gasto de concretagem (Figura 19).



Figura 18 - Taracord CE.

Fonte: <https://sites.google.com/site/fundacoes/home222>.

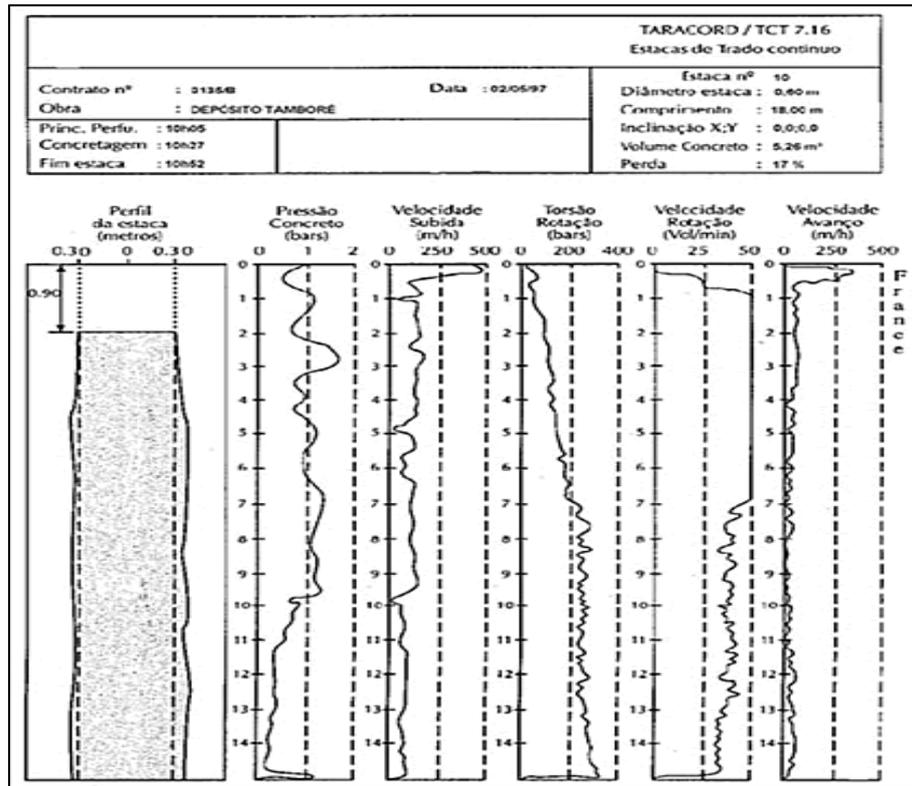


Figura 19 - Relatório de execução de Estacas de Trado Contínuo.

Fonte: Novageo (2018).

2.5.3. Características principais das Estacas

Produtividade: 150 a 400 m por dia, dependendo das profundidades das estacas, dos diâmetros, etc.

Capacidade de carga: 25 a 390 tf.

Profundidade máxima: 20 a 30 m.

Vibrações causadas: Não produz.

2.6. Capacidade de carga para fundações profundas por estacas

Uma fundação quando dimensionada corretamente, deve atentar-se para sua segurança em relação a perda da capacidade de carga e avaliar seus deslocamentos verticais.

Para Alonso *et al.* (2000) a capacidade de carga estrutural de uma estaca, é determinada de forma parecida com a de um pilar, porém a fundação é um elemento estrutural isolado, por isso não terá efeitos de flambagem.

De acordo com a Norma Brasileira 6122 (ABNT, 2010), a carga de ruptura deve ser elaborada através de um ou mais dos procedimentos abaixo:

- a) Prova de carga;
- b) Métodos estáticos;
- c) Determinação da carga admissível ou carga resistente de projeto a partir do estado-limite de serviço (recalque);
- d) Métodos dinâmicos;
- e) Fórmulas dinâmicas;
- f) Ensaio de carregamento dinâmico.

Apresentado pela Norma Brasileira 6122/1996, a capacidade de carga para fundações profundas por estacas, é calculada pela soma de duas parcelas:

$$\text{Equação 1} \quad P_r = P_L + P_p$$

Onde:

- P_r = capacidade de carga ou carga de ruptura da estaca;
- P_L = parcela correspondente ao atrito lateral (solo-estaca);
- P_p = parcela correspondente à resistência de ponta.

Para determinar os valores de P_L e P_p , deve-se seguir as seguintes expressões (Alonso, 1983):

$$\text{Equação 2} \quad P_L = U \sum_i (\Delta l_i \cdot r_{L_i})$$

$$\text{Equação 3} \quad P_p = A_p \cdot r_p$$

Onde:

- U = perímetro da seção transversal do fuste;

- Δl = trecho do fuste onde se admite r_L constante;
- r_L = atrito lateral gerado pelo contato do fuste com o solo;
- A_p = área da ponta de estaca;
- r_p = resistência de ponta;
- Δl = trecho do fuste onde r_L é constante.

Existem diversos métodos estáticos para cálculo de capacidade de carga, sendo eles racionais ou teóricos, empíricos e semiempíricos, entretanto para desenvoltura deste trabalho, será apresentado apenas os métodos semiempíricos realizados por meio de SPT, devido a estar relacionado diretamente ao estudo de caso e a metodologia aplicada, que serão apresentados no próximo capítulo.

2.6.1. Métodos semiempíricos

Os considerados métodos semiempíricos baseiam-se em ensaios “*in situ*” de penetração, sendo designados para CPT e SPT. No Brasil, onde a investigação geotécnica mais utilizada é o SPT, há uma grande quantidade de métodos confiáveis para capacidade de carga, entretanto, os mais utilizados e os que darão enfoque a esse trabalho são:

- Aoki e Velloso (1975);
- Decourt e Quaresma (1978);
- Antunes e Cabral (1996).

a) Aoki e Velloso (1975): O método de Aoki-Velloso determina as resistências de ponta (r_p) e lateral (r_L). Foi desenvolvido através de correlações entre resultados de ensaios de penetração estática (cone, CPT) e dinâmicos (amostrador, SPT) por meio de um fator de conversão (K). É apresentado pelas seguintes fórmulas:

Equação 4
$$r_p = \frac{KNSPT}{F_1}$$

Equação 5
$$r_L = \frac{\alpha KNSPT}{F_2}$$

Onde:

- NSPT = Valor obtido com a sondagem SPT e que corresponde ao número de golpes na camada;
- α = relação entre as resistências de ponta e lateral local do ensaio de penetração estática (Tabela 2);
- K = coeficiente de conversão da resistência de ponta do cone para NSPT (Tabela 2);
- F1= Coeficiente de transformação que engloba o tipo de estaca e o efeito escala entre a estaca (protótipo) e o cone do CPT (Modelo), para o cálculo da carga de ponta (Tabela 3);
- F2= Coeficiente de transformação que engloba o tipo de estaca e o efeito escala entre a estaca (protótipo) e o cone do CPT (Modelo), para o cálculo da resistência lateral (Tabela 3);

Tabela 2 - Valores de K e α para o método Aoki-Velloso.

Tipo de solo	K (MPa)	α (%)
Areia	1,00	1,4
Areia siltosa	0,80	2,0
Areia silto-argilosa	0,70	2,4
Areia argilosa	0,60	3,0
Areia argilo-siltosa	0,50	2,8
Silte	0,40	3,0
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte arenoso-argiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argilo-siltoso	0,25	3,0
Argila	0,20	6,0
Argila arenosa	0,35	2,4

Argila areno-siltosa	0,30	2,8
Argila siltosa	0,22	4,0
Argila silto-arenosa	0,33	3,0

Fonte: Adaptado de Fundações Teoria e Prática (2018).

Tabela 3 - Valores de F1 e F2 para o método Aoki-Velloso.

Tipo de Estaca	F1	F2
Franki	2,5	5,0
Metálica	1,75	3,5
Pré-Moldada	1,75	3,5

Fonte: Adaptado de Fundações Teoria e Prática (2018).

b) Decourt e Quaresma (1978): Neste método é apresentada uma avaliação na capacidade de carga baseado nos valores N do SPT. As resistências de ponta e lateral (r_p e r_L) são calculadas pelas seguintes equações:

Equação 6
$$r_p = \alpha K N_p$$

Equação 7
$$r_L = \beta \cdot 10 [N_m + 1]$$

Onde:

- α e β = determinados em função da estaca e do tipo de solo (tabela 3 e 4);
- K = coeficiente que relaciona a resistência de ponta de acordo com o tipo de solo (tabela 5);
- N_p = média dos valores de NSPT na ponta da estaca;
- N_m = média dos valores de NSPT ao longo do fuste da estaca.

Tabela 4 - Valores de α pelo método Decourt e Quaresma de acordo com tipo de estaca e solo.

Tipo de Solo	Tipo de Estaca				
	Escavada em Geral	Escavada (betonita)	Hélice Contínua	Raiz	Injetada (altas pressões)
Argilas	0,85	0,85	0,30	0,85	1,00
Solos Intermediários	0,60	0,60	0,30	0,60	1,00
Areias	0,50	0,50	0,30	0,50	1,00

Fonte: Adaptado de Decourt, (1996).

Tabela 5 - Valores de β pelo método Decourt e Quaresma de acordo com tipo de estaca e solo.

Tipo de Solo	Tipo de Estaca				
	Escavada em Geral	Escavada (betonita)	Hélice Contínua	Raiz	Injetada (altas pressões)
Argilas	0,80	0,90	1,00	1,50	3,00
Areias	0,50	0,60	1,00	1,50	3,00

Fonte: Adaptado de Decourt, (1996).

Tabela 6 - Valores de K por Decourt e Quaresma.

Tipo de Solo	K(kN/m ²)	K(tf/m ²)
Argila	120	12
silte argiloso (solo residual)	200	20
silte arenoso (solo residual)	250	25
Areia	400	40

Fonte: Adaptado de Fundações Teoria e Prática, (2018).

c) Antunes e Cabral (1996): De acordo com Velloso (2010), o método produzido por Antunes e Cabral se refere diretamente às estacas do tipo hélice contínua

composto neste trabalho e também é utilizado a partir dos resultados adquiridos no ensaio SPT.

A capacidade de carga para este método é calculada como:

Equação 8
$$r_L = U \sum (\beta_3 * N) * \Delta_L (kgf/cm^2)$$

Equação 9
$$r_P = A_b * \beta_4 * N_p < 40 kgf/cm^2$$

Onde:

- U = Perímetro do fuste da estaca;
- β_3 e β_4 = coeficientes determinados para cada tipo de solo (Tabela 6);
- N = Índice de resistência a penetração do SPT;
- Δ_L = Comprimento da estaca;
- N_{PL} = Índice de resistência a penetração do SPT

Tabela 7 - Valores de β conforme método de Antunes e Cabral.

Solo	β_3 (%)	β_4 (%)
Areia	4 – 5	2 – 2,5
Silte	2,5 – 3,5	1 – 2
Argila	2 – 3,5	1 – 1,5

Fonte: Adaptado de Décourt *et al.*, (1998).

3 ESTUDO DE CASO

3.1. Localização e informações da obra

Este estudo foi elaborado e concluído através de um projeto estrutural já finalizado.

O caso refere-se a uma obra residencial localizada em Cambuí, sul do estado de Minas Gerais na Rua Av. Tiradentes, 162 – Centro da cidade, com um terreno de aproximadamente 590 m² distribuídos em 6 pavimentos (2 subsolos, 1 térreo e 3 andares).

Todos os dados recolhidos para esse estudo foram concedidos sob o conhecimento do proprietário da obra supracitada.

3.2. Sondagem SPT no local

A elaboração de sondagem foi programada para o terreno em questão, sendo distribuído de acordo com a Norma Brasileira 8036 (ABNT, 1983), apresentado por 03 furos (Figura 19).

A execução da sondagem foi realizada pela empresa solicitada, a qual não permitiu a divulgação do nome neste trabalho no dia 16 de abril de 2013 obedecendo as normas da Norma Brasileira 6484/2001).

O furo SPT-01 atingiu uma profundidade de 18,45 metros, onde o amostrador se tornou impenetrável. O furo SPT-02 atingiu 19,45 metros de profundidade. O SPT-03, igualmente ao SPT-02, com 19,45 metros de profundidade.

No furo SPT-01, o solo da primeira camada com uma profundidade de 2,20 metros, apresentou materiais do tipo argila siltosa de cor vermelha e mole. No SPT-02 e SPT-03, encontrou-se o mesmo material até 2,90 metros. Seguindo abaixo, a uma profundidade de 6,45 metros, no SPT-01, o solo consistiu no mesmo material (argila siltosa), porém com a cor ocre e uma consistência mole e média. No SPT-02, chegando a uma profundidade de 7,00 metros, avistou-se um silte argiloso, de cor ocre com consistência média a rija, enquanto no SPT-03, o mesmo material com uma profundidade de 6,70 metros. Com o avanço da

profundidade, observou-se a predominância de silte argiloso nos três furos com a cor branca prevalecendo e sua dureza aumentando, de forma a finalizar o trabalho de sondagem.

Ao final da execução foi apresentado ao proprietário informações sobre a metodologia e dos métodos de execução, croqui da localização dos furos e os boletins de sondagens de cada furo, estes podem ser observados nas figuras 20, 21 e 22.

Com a sondagem e a análise do perfil geológico geotécnico, foi possível observar que tanto as estacas hélice contínua e strauss são formas viáveis para a execução do projeto. Devido a necessidade de optar por uma das duas, faz-se a necessidade de um comparativo de custos, optando pela mais econômica.

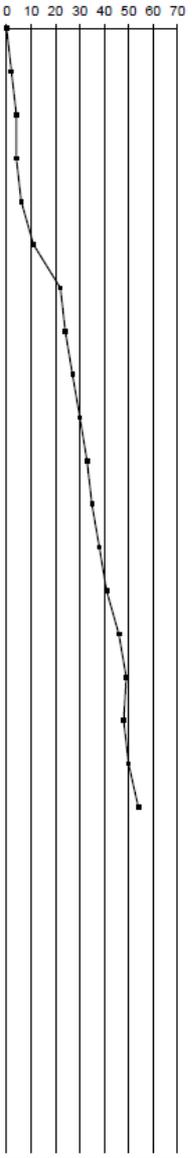
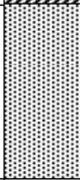
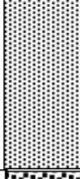
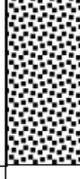
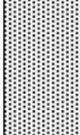
CLIENTE:			CONTR.: 44-13			INICIO: 16/04/2013					
OBRA: Avenida Tiradentes,162			RELAT.: 1			TERMINO: 16/04/2013					
LOCAL: Cambui -MG			COTA: 855,91								
Prof. ML	Cota em Relação ao R.N	Nível da Água	Prof. ML	Classificação do Material	Amostra	Ensaio Penetrométrico Gloopes 15 cm			S.P.T	Gráfico S.P.T.	
(01)	853,71	1,80	2,20	Argila siltosa cor:vermelha consistência: mole		-	1	1	2		
(02)				-	2	2	4				
(03)				-	2	2	4				
(04)				-	3	3	6				
(05)				-	4	7	11				
(06)				849,46	6,45	6,45	Argila Siltosa cor: ocre consistência:mole a média		7		10
(07)	8	11	13				24				
(08)	9	12	15				27				
(09)	845,81	10,10	10,10	Silte argiloso e arenoso cor:vermelho c\ branco consistência:rija		9	14	16	30		
(10)				11	15	18	33				
(11)				11	16	19	35				
(12)				12	17	21	38				
(13)	841,46	14,45	14,45	Silte argiloso cor:vermelho c\ branco variegado consistência: dura		12	18	23	41		
(14)				12	18	23	41				
(15)				14	21	25	46				
(16)				15	22	27	49				
(17)	837,46	18,45	18,45	Silte argiloso cor:vermelho c\ branco variegado consistência: dura		16	21	27	48		
(18)				17	22	28	50				
(19)				17	24	30	54				
(20)											
(21)											
(22)											
(23)											
(24)											
(25)											
(26)											
(27)											
Avanço a trado		0,00m a 5,00m		Lavagem por Tempo de 30 min		Nível d'água					
Avanço por lavagem		5,00m a 18,45m				Inicial		Final		Desenho	
Prof.do revestimento:		6,00m		Tempo de		2,23		1,8		01-06	
Limite da sondagem:		18,45m		de						01-01	
ART:George Edson Magalhães 73938/D		10		Para		Número do furo		Sondador			
Responsável: -		10				SP01					

Figura 20 - Sondagem do furo SPT 01.

Fonte: Elaborada pelo Autor, (2018).

CLIENTE: -			CONTR.: 44-13			INICIO: 16/04/2013				
OBRA: Avenida Tiradentes, 162			RELAT.: 1			TERMINO: 16/04/2013				
LOCAL: Cambui -MG			COTA: 855,91			Gráfico S.P.T.				
Prof. ML	Cota em Relação ao R.N	Nível da Água	Prof. ML	Classificação do Material	Amostra	Ensaio Penetrométrico Gloopes 15 cm		S.P.T		
(01)	853,01	2,10	2,90	Argila siltosa cor:vermelha consistência: mole		-	1	2	3	
(02)				-	2	3	5			
(03)				-	3	3	6			
(04)				-	4	5	9			
(05)				-	5	8	13			
(06)				5	9	11	20			
(07)				7	9	12	21			
(08)	848,91	7,00	11,45	Silte argiloso e arenoso cor:vermelho c\ branco consistência:dura		7	9	12	21	
(09)				8	11	13	24			
(10)				9	14	17	31			
(11)				10	14	17	31			
(12)				10	15	18	33			
(13)	844,46	11,45	15,00	Silte argiloso cor: vermelho c\ ocre consistência:dura		11	16	20	36	
(14)				11	17	22	39			
(15)				13	19	24	43			
(16)				16	20	28	48			
(17)	840,91	15,00	19,45	Silte argiloso cor:vermelho c\ branco variegado consistência:dura		17	21	29	50	
(18)				18	22	30	52			
(19)				17	23	31	54			
(20)				19	23	32	55			
(21)	836,46	19,45	19,45	Limite da Sondagem						
(22)										
(23)										
(24)										
(25)										
(26)										
Avanço a trado		0,00m a 4,60m		Lavagem por Tempo de 30 min		Nível d'água		Desenho	Folha	
Avanço por lavagem		4,60m a 19,45m				Inicial	Final			
Prof.do revestimento:		6,00m		Tempo	de	Para		01-66	01-01	
Limite da sondagem:		18,45m		10						
ART:George Edson Magalhães 73938/D		10				Número do furo		Sondador		
Responsável:-		10				SP02				

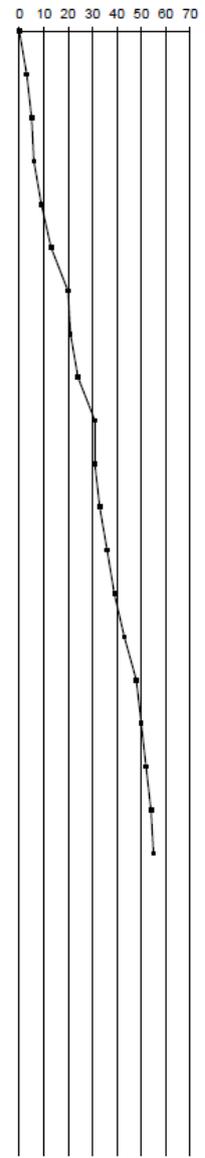


Figura 21 - Sondagem do furo SPT 02.

Fonte: Elaborada pelo Autor, (2018).

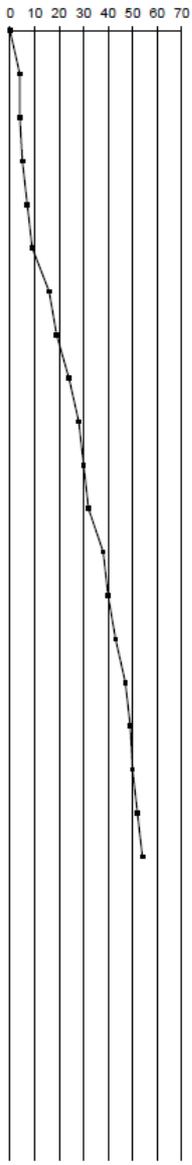
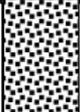
CLIENTE:				CONTR.: 44-13				INÍCIO: 16/04/2013				
OBRA: Avenida Tiradentes,162				RELAT.: 1				TERMINO: 16/04/2013				
LOCAL: Cambui -MG				COTA: 855,91								
Prof. ML	Cota em Relação ao R.N	Nível da Água	Prof. ML	Classificação do Material	Amostra	Ensaio Penetrométrico Gloopes 15 cm		S.P.T	Gráfico S.P.T.			
(01)	853,01	2,90	2,90	Argila siltosa cor:vermelha consistência: mole		-	2	2		4		
(02)				-	2	2	4					
(03)				849,21	6,70	Silte argiloso cor: ocre consistência:média a rija		-	2	3		5
(04)							-	3	4	7		
(05)							-	4	5	9		
(06)							4	7	9	16		
(07)	844,11	11,80	Silte argiloso e arenoso cor:vermelho c\ branco consistência:dura		6	8	11	19				
(08)				7	10	14	24					
(09)				8	13	15	28					
(10)				10	14	16	30					
(11)				10	15	17	32					
(12)				840,91	15,00	Silte argiloso cor: vermelho c\ ocre consistência:dura		11	17	21		38
(13)	12	18	22				40					
(14)	13	20	23				43					
(15)	14	21	26				47					
(16)	836,46	19,45	Silte argiloso cor:vermelho c\ branco variegado consistência:dura		15	22	27	49				
(17)				16	22	28	50					
(18)				16	23	29	52					
(19)				16	23	31	54					
(20)				Limite da Sondagem								
(21)												
(22)												
(23)												
(24)												
(25)												
(26)												
Avanço a trado		0,00m a 4,60m		Lavagem por Tempo de 30 min		Nível d'água		Desenho	Folha			
Avanço por lavagem		4,60m a 19,45m		Tempo	de	Para	Inicial	Final				
Prof.do revestimento:		6,00m		10			3,33	2,9	01-66			
Limite da sondagem:		18,45m		10			Número do furo		Sondador			
ART:George Edson Magalhães 73938/D				10			SP03		01-01			
Responsável: -				10								

Figura 22 - Sondagem do furo SPT 03.

Fonte: Elaborada pelo Autor, (2018).

3.3. Projeto estrutural

O projeto estrutural da obra foi elaborado e disponibilizado pelo Engenheiro Civil responsável pela obra (Anexo I, II, III, IV e V). Para uma melhor visualização e análise da imagem junto com o trabalho impresso encontra-se um CD com os Anexos em formato .CAD. Através do projeto estrutural, houve a elaboração do projeto de fundação, também elaborado pelo Engenheiro Civil, que distribuiu as cargas que a estrutura depositará ao solo em todo o terreno, dimensionando assim a quantidade de estacas e seus diâmetros.

Obteve-se um total de 140 estacas, sendo, 100 estacas com diâmetro de Ø25 cm, 20 com Ø30 cm e 20 com Ø40, com cargas de 20, 25 e 40 toneladas respectivamente.

Com os dados apresentados, há uma necessidade do cálculo da profundidade de cada estaca para o melhor dimensionamento atendendo os requisitos básicos dos métodos de fundação.

3.4. Profundidade das Estacas

Com a quantidade de estacas e sua capacidade de carga estabelecidas pelo engenheiro, tem-se a necessidade de calcular as profundidades das estacas supracitadas. Estas foram dimensionadas através da média dos três métodos de fundação que gerem este estudo de caso (Décourt e Quaresma, Aoki e Velloso e Antunes e Cabral) por meio de tabelas disponibilizadas por profissionais do ramo de fundações que possuem valores especificados para cada método (Anexo VI, VII, VIII, IX, X e XI). Porém, para o dimensionamento de estacas Strauss, não há valores para o método de Antunes e Cabral, sendo ele designado especificamente para Hélice Contínua. O coeficiente de segurança adotado para ambos os métodos foi 2,0 MPa.

Analisando as tabelas, encontra-se valores de profundidades para Hélice Contínua e Strauss.

3.4.1. Profundidades para Hélice Contínua:

a) Furo 01

Tabela 8 - Furo 01

Ø25 cm c/ 20 toneladas	10 metros.
Ø30 cm c/ 25 toneladas	10 metros.
Ø40 cm c/ 40 toneladas	10 metros.

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

b) Furo 02

Tabela 9 - Furo 02

Ø25 cm c/ 20 toneladas	9 metros
Ø30 cm c/ 25 toneladas	9 metros
Ø40 cm c/ 40 toneladas	9 metros

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

c) Furo 03

Tabela 10 - Furo 03

Ø25 cm c/ 20 toneladas	10 metros
Ø30 cm c/ 25 toneladas	10 metros
Ø40 cm c/ 40 toneladas	10 metros

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

3.4.2. Profundidades para Strauss:

a) Furo 01

Tabela 11 - Furo 01

Ø25 cm c/ 20 toneladas	10 metros
Ø30 cm c/ 25 toneladas	10 metros
Ø40 cm c/ 40 toneladas	10 metros

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

b) Furo 02

Tabela 12 - Furo 02

Ø25 cm c/ 20 toneladas	10 metros
Ø30 cm c/ 25 toneladas	10 metros
Ø40 cm c/ 40 toneladas	10 metros

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

c) Furo 03

Tabela 13 - Furo 03

Ø25 cm c/ 20 toneladas	11 metros
Ø30 cm c/ 25 toneladas	10 metros.
Ø40 cm c/ 40 toneladas	11 metros

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Por motivos de padronização, tanto na compra como para facilidade de execução, a profundidade das estacas serão atribuídas todas com 10 metros para Hélice Contínua e 11 metros para Strauss, respitando os motivos de segurança para os respectivos métodos adotados.

De acordo com o projeto estrutural, temos um total de 140 estacas, sendo:

- 100 estacas Ø 25 cm;
- 20 estacas Ø 30 cm;
- 20 estacas Ø 40 cm.

3.5. Armaduras

As armaduras, também disponibilizadas através do projeto estrutural, são: Total de 78 $\varnothing 8.0$ mm C= 600 cm.

Os estribos são:

- 17x17x17 5.0 \varnothing mm C= 57 cm para estacas com $\varnothing 25$ cm;
- 21x21x21 5.0 \varnothing mm C= 69 cm para estacas com $\varnothing 30$ cm;
- 30x30x30 5.0 \varnothing mm C= 90 cm para estacas com $\varnothing 40$ cm.

Porém, as armaduras não serão atribuídas à cotação devido a serem as mesmas utilizadas pelos dois métodos, então não haverá uma diferença de preço entre elas no orçamento.

3.6. Cotação de preços para execução

A cotação dos preços foi realizada com diversas empresas, sendo elas região do Sul de Minas Gerais devido a cidade não apresentar os equipamentos necessários para execução da fundação. Já o aluguel de betoneira, concreto usinado e agregados foram orçados na própria cidade.

A mão-de-obra dos ajudantes foi orçada através de indicações pessoais de profissionais reconhecidos na cidade.

3.7. Orçamento Estaca Hélice Contínua

- a) Para os furos: Para orçamento dos furos em Hélice Contínua, segue a tabela abaixo (Tabela 14).

Tabela 14 - Orçamento tabelado para execução dos furos para o método de Estacas Hélice Contínua.

Estacas (cm)	Quantidade	Metro linear	Preço/ml	Preço total
Ø 25	100	10	R\$ 23,00	R\$ 23.000,00
Ø 30	20	10	R\$ 26,00	R\$ 5.200,00
Ø 40	20	10	R\$ 30,00	R\$ 6.000,00
				Σ= R\$ 34.200,00

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

b) Taxa de Mobilização do equipamento: O preço para mobilização de todo equipamento é R\$ 600,00. OBS: O preço de mobilização chega a ser um pouco elevado devido a empresa solicitada ser de outra cidade, como citado anteriormente.

c) Quantidade de dias para realização dos furos: A média que a máquina consegue perfurar por dia são aproximadamente 200 metros lineares.

No total tem-se 1.400 metros lineares. Com isso, temos:

Equação 10 $1.400/200 = 7 \text{ dias de execução}$

d) Cálculo do metro cúbico de concreto: O metro cúbico do concreto, é calculado pela seguinte equação:

Equação 11 $\Pi \cdot (D/2)^2 \cdot ml$

Onde:

- $\Pi = 3,1415926$;
- D= Diâmetro da estaca em metros;
- ml = Metros lineares totais para cada diâmetro.

Sendo assim, a fórmula é representada pela tabela a seguir (Tabela 15):

Tabela 15 - Totalização dos metros cúbicos de concreto necessários para concretagem das estacas.

Diâmetro (m)	Metros Lineares (ml)	Metro Cúbico do Concreto (m³)
0,25	1000	49,09
0,30	200	14,14
0,40	200	25,13
		Σ= 88,36

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

e) Bombeamento do concreto: O aluguel da bomba de concreto por dia foi cotado em R\$ 600,00 com a mesma empresa responsável pela execução das Estacas. A média em que a bomba trabalha por dia são 200 metros lineares de concreto. Como há um total 1400 metros lineares de concreto, basta calcular:

Equação 12 $1400/200 = 7 \text{ dias}$

Equação 13 $7 \text{ dias} \times R\$ 600,00 = R\$ 4.200,00$

f) Aluguel do vibrador de concreto: Para facilitar com que o concreto seja distribuído de forma com que se assente na forma.

Como serão 7 dias de serviço e o preço por dia é de R\$ 50,00, tem-se:

Equação 14 $7 \text{ dias} \cdot R\$ 50,00 = R\$ 350,00$

g) Estadia e Alimentação: A estadia e alimentação já está inclusa no preço de execução para Hélice Contínua. Caminhão de concreto usinado: Para execução da concretagem é necessário o concreto usinado, com fck 20 MPa, slump entre 200 a 240 mm, brita zero e consumo 400 kg/m³;

h) O caminhão betoneira suporta 8 m³ de concreto usinado. O preço do metro cúbico do concreto usinado é R\$ 280,00.

Como calculado anteriormente, na Tabela 8, o consumo total de concreto para o enchimento das estacas são de 88,36 m³, porém, por vias de segurança deve-se adotar uma margem de superconsumo de 25%. Com isso, esse valor chega a aproximadamente 111 m³ de concreto.

Para isso, tem-se a necessidade de 13 caminhões com 8 m³ e 1 caminhão com 7 m³.

O preço final para 111 m³ de concreto usinado será:

Equação 15 $111 \text{ m}^3 \cdot R\$ 280,00 = R\$ 31.080,00$

i) Orçamento final para Estacas Hélice Contínua: Para entrega das estacas prontas, concretadas, são aproximadamente 7 dias.

Segue a tabela abaixo (Tabela 16) os valores totais para o método Hélice Contínua.

Tabela 16 - Preço total para realização de Estacas Hélice Contínua.

Itens	Preço
Execução dos furos	R\$ 34.200,00
Taxa de Mobilização	R\$ 600,00
Concreto Usinado (110 m ³)	R\$ 31.080,00
Aluguel da Bomba de Concreto (7 dias)	R\$ 4.200,00
Aluguel Vibrador	R\$ 350,00
Total	R\$ 70.430,00

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

3.7.1. Orçamento Estaca Strauss

- a) Para os furos: Para orçamento dos furos em Strauss, segue a tabela abaixo (Tabela 17).

Tabela 17 - Orçamento tabelado para execução dos furos para o método de Estacas Strauss.

Estacas (cm)	Quantidade	Metro linear	Preço por metro linear	Preço total
Ø 25	100	11	R\$ 22,00	R\$ 24.200,00
Ø 30	20	11	R\$ 25,00	R\$ 5.500,00
Ø 40	20	11	R\$ 30,00	R\$ 6.600,00
				Σ= R\$ 36.300,00

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

- b) Taxa de Mobilização do equipamento: O preço para mobilização de todo equipamento é R\$ 800,00. OBS: O preço de mobilização chega a ser um pouco elevado devido a empresa solicitada ser de outra cidade, como citado anteriormente.

- c) Quantidade de dias para realização dos furos: A média que uma máquina consegue executar por dia são aproximadamente 30 metros lineares. No total tem-se 1.540 metros lineares. Com isso, tem-se:

Equação 16 $1.540 \text{ ml} / 30 \text{ ml por dia} \cong 52 \text{ dias de execução}$

- d) Estadia e Alimentação: Para execução dos furos para Estacas Strauss, se faz presente dois funcionários da empresa. Com isso, a estadia e alimentação a ser cobrada pela empresa, é R\$ 240,00 por dia. Como serão 52 dias, calcula-se:

Equação 17 $52 \text{ dias} \cdot R\$ 240,00 = R\$ 12.480,00$

e) Cálculo do metro cúbico de concreto: Como visto anteriormente, o metro cúbico do concreto, é calculado pela seguinte equação:

Equação 18 $II. (D/2)^2 \cdot ml$

Sendo assim, a fórmula anterior é representada na tabela abaixo (Tabela 18):

Tabela 18 - Totalização dos metros cúbicos de concreto necessários para concretagem das estacas Strauss.

Diâmetro (m)	Metros Lineares (ml)	Metro Cúbico do Concreto (m ³)
0,25	1100	54,00
0,30	220	15,55
0,40	220	27,65
		$\Sigma=$ 97,20

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Para a concretagem da Strauss, adota-se em média um superconsumo de 20%, devido às perdas durante o processo. Com isso, a quantidade de concreto é 116,64 m³.

f) Ajudantes: Para a execução da concretagem, será necessário o auxílio de dois ajudantes afim de acelerar o processo de concretagem. O rendimento médio de cada ajudante é 1 m³ de concretoproduzido a cada 5 horas com o auxílio da betoneira. Com a carga horária de 9 horas de serviço por dia e dois ajudantes, temos o total de 3,6 m³ de concreto produzido ao dia. Com isso, a quantidade de dias necessários para a concretagem será:

Equação 19 $116,64 \text{ m}^3 / 3,6 \text{ m}^3 \cong 33 \text{ dias de serviço}$

Como um fator de segurança, levando em consideração a utilização do vibrador de concreto e o tempo gasto para virar o concreto no furo, adota-se 35 dias de serviço com dois ajudantes, ficando:

Equação 20 $35 \text{ dias} \cdot 2 \text{ ajudantes} \cdot R\$ 80,00 = R\$ 5.600,00$

g) Aluguel do vibrador de concreto: Para facilitar com que o concreto seja distribuído de forma com que o concreto se assente na forma.

Como serão 35 dias de serviço e o preço por dia é de R\$ 50,00 tem-se:

Equação 21 $35 \text{ dias} \cdot R\$ 50,00 = R\$ 1.750,00$

h) Aluguel da Betoneira: O aluguel da betoneira foi orçado em R\$ 10,00 ao dia. Como serão 35 dias de serviço para a concretagem, Para isso, calcula-se:

Equação 22 $35 \text{ dias} = 7 \text{ semanas de trabalho (dias úteis)}$.

Devido a presença de dois ajudantes na obra, tem-se a necessidade da utilização de duas betoneiras para acelerar o processo. Para isso, o aluguel de duas betoneiras nos 30 dias que ficarão na obra gira em torno de:

Equação 23 $35 \text{ dias} \cdot 2 \text{ betoneiras} \cdot R\$ 10,00/\text{dia} = R\$ 700,00$

i) Concreto: Para execução da concretagem das estacas Strauss, é realizada a mistura dos materiais pelos ajudantes com o auxílio da betoneira. O fck do concreto deve ser ≥ 15 MPa e a quantidade de areia e brita para o m^3 são respectivamente 0,487 m^3 e 0,780 m^3 . O cimento, de preferência CP II, com 310 kg/ m^3 .

A tabela abaixo (Tabela 19), indica o preço respectivos materiais:

Tabela 19 - Preço dos agregados para o concreto.

Areia (m^3)	Brita 1 (m^3)	Cimento (50kg)
R\$ 100,00	R\$ 110,00	R\$ 19,00

Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

Com a disponibilidade dos preços de cada agregado, tem-se a necessidade de calcular a quantidade de cada material e o preço total que será gasto:

- Areia:

Equação 24 $116,64 \text{ m}^3 \cdot 0,487 = 56,80 \cong 57 \text{ m}^3 \text{ de areia}$

Equação 25 $57 \text{ m}^3 \cdot R\$ 100,00 = R\$ 5.700,00$

- Brita:

Equação 26 $116,64 \text{ m}^3 \cdot 0,780 = 90,98 \cong 91 \text{ m}^3 \text{ de brita 1}$

Equação 27 $91 \text{ m}^3 \cdot R\$ 110,00 = R\$ 10.010,00$

- Cimento: Cada saco de cimento CP II tem 50 kg e um valor de R\$ 19,00. São necessários 310 kg de cimento para 1 m³ de concreto, então calcula-se:

Equação 28 *Total de Kg: $116,64 \text{ m}^3 \cdot 310 \text{ kg} = 36.158,4 \text{ kg de cimento}$*

Equação 29 *Quantidade de sacos: $36.158,4 \text{ kg} / 50 \cong 724 \text{ sacos}$*

Equação 30 *Preço total: $724 \text{ sacos} \cdot \text{R\$ } 19,00 = \text{R\$ } 13.756,00$*

O preço final dos materiais para o concreto será:

Equação 31 *$\text{R\$ } 5.700,00 + \text{R\$ } 10.010,00 + \text{R\$ } 13.756,00 = \text{R\$ } 29.466,00$*

j) Orçamento final

Tabela 20 - Preço total para realização de Estacas Strauss.

Itens	Preço
Execução dos furos	R\$ 36.300,00
Taxa de Mobilização	R\$ 800,00
Estadia e Alimentação	R\$ 12.480,00
Ajudantes	R\$ 5.600,00
Betoneira	R\$ 700,00
Concretagem	R\$ 29.466,00
Aluguel vibrador	R\$ 1.750,00
Total	R\$ 87.096,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.8. Comparação de Dias e Viabilidade Técnica e Financeira

Com o levantamento dos cálculos, obteve-se o resultado de dias gastos para execução de ambas as estacas. Para Hélice Contínua, o total de dias foram 7, já para Strauss 87. Uma diferença enorme que pode ser explicada pelos fatores tecnológicos e pela utilização de máquinas e de equipamentos que agilizam no processo.

Em representação financeira, o orçamento para Estacas Hélice ficaram em torno de R\$ 70.430,00 enquanto as Estacas Strauss em torno de R\$ 87.096,00. Uma diferença de R\$

16.666,00, mostrando uma economia de aproximadamente 19% do preço final para Hélice Contínua. Com isso, nota-se a importância do orçamento e análise de qual método deverá ser empregado.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou através de um edifício residencial multifamiliar um estudo de caso comparando dois tipos de fundação profunda, sendo elas Strauss e Hélice Contínua. Este estudo foi elaborado e concluído através de um projeto estrutural já finalizado. Para destacar as diferenças foram considerados aspectos técnicos e financeiros, onde estavam presentes as características positivas e negativas para cada tipo e seus materiais/mão-de-obra referentes à sua execução.

Quanto ao tempo, para Hélice Contínua, o total gasto para a conclusão do serviço foram 7 dias, enquanto para Strauss 87 dias, diferença esta que representa por um lado a concretagem auxiliada por uma máquina de tecnologia mais avançada e de grande porte e também de uma bomba de concreto, agilizando o processo, e do outro, a concretagem apenas depois da execução dos furos e colocação da armadura com o auxílio de dois ajudantes com betoneiras. Para a quantidade de dias de execução para 1 projeto de Estacas Strauss, consegue-se realizar 12 projetos de Estacas Hélice Contínua do mesmo porte.

A facilidade de execução percebeu-se por motivos que de um lado há uma empresa que entregará o serviço conforme contratado, e de outro, a inspeção necessária no campo devido a contratação de ajudantes, aluguel de betoneiras e pedidos de materiais o que também pode gerar um atraso na execução. Pode-se assim afirmar que os métodos de execução para Hélice Contínua possui uma grande vantagem tecnológica, destacando a utilização de máquinas para determinadas funções, já a Strauss tem sido uma técnica que vem sendo deixada para trás por ser um método mais arcaico, demorado, barulhento, que pode gerar trincas às fundações vizinhas, porém, ainda é usado em lugares distantes, onde a locomoção em comparação à Hélice se torna mais viável por ser um equipamento mais fácil de ser transportado. O dimensionamento de cargas para Hélice também é um ponto positivo em relação à Strauss por apresentar uma alta capacidade de carga, que gerou uma diferença de 1 metro linear para todas as estacas, influenciando no fator técnico e financeiro.

Analisando financeiramente, temos a Hélice Contínua como R\$ 16.666,00 mais barata que a Strauss, gerando uma economia de 19%, tornando-a o método mais adequado e econômico.

Através dos resultados, observou-se que o método de Estacas Hélice Contínua obteve uma vantagem considerável nos âmbitos técnico e financeiro em relação as Estacas Strauss.

Fatores estes que influenciaram a escolha deste método trazendo inovação e praticidade na construção civil.

REFERÊNCIAS

- ABMS/ABEF. **Fundações Teoria e Prática**, 2a edição, editora PINI, 1999, São Paulo, 750p.
- AOKI, N.; VELLOSO, D. A. *An Approximate method to estimate the bearing capacity of piles*. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING, 5., 1975, Buenos Aires. Proceedings...Buenos Aires, 1975. v. 1. p. 367-376.
- ANTUNES, W.R., CABRAL, D.A, 1996, “**Capacidade de Carga de Estacas Hélice Contínua**”. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais –SEFE III, 2: pp. 105-110, ABMS, São Paulo, SP
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122 – **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro-RJ, 1994.
- _____. NBR 6484 – **Execução de Sondagens de simples reconhecimento dos solos**. Rio de Janeiro-RJ, 1980.
- _____. NBR 6502 – **Rochas e solos**. Rio de Janeiro-RJ, 1993.
- _____. NBR 8036 – **Programa de Sondagens para simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. Rio de Janeiro-RJ, 1983.
- BERBERIAN, Dickran. **Engenharia de Fundações**. Editora UnB. 24º Edição Experimental. Brasília-DF, 1943.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações: Mecânica das Rochas – Fundações – Obras de Terra**. 6.ed. Rio de Janeiro: LCT – Livro Técnico e Científico. Editora S.A., 1987 498 p.
- CARVALHO, Paolla Moraes de. **Projeto de Fundação de Edifícios Residencial em Estaca Hélice Ômega e Comparação de Custo com Estaca Hélice Contínua**. UENF, Campos dos Goytacazes, 2013.
- DAS, Braja M. (2007). **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. Tradução. 6.ed. São Paulo: Thomson Learning, 562 p.
- DALDEGAN, Eduardo. **Tubulão a céu aberto: Processo executivo e dicas práticas**. Disponível em: www.engenhariaconcreta.com/tubulao-a-ceu-aberto-processo-executivo/. Acesso em: novembro de 2018.
- DÉCOURT, L; QUARESMA, A. R. (1978). **Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT**. In: CBMSEF, 6., Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, v. 1.
- FAZFÁCIL. Sapatas na Construção da Casa ou Prédio. Disponível em: <https://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/sapatas-da-construcao/>. Acesso em: 22 de Julho de 2018.

GEFORCE. **Tubulões a Ar Comprimido**. Disponível em: <http://www.geoforcefundacoes.com.br/servicos/tubuloes-sobre-ar-comprimido/>. Acesso em: novembro de 2018.

HACHICH, W *et al.* **Fundações - Teoria e Prática**. São Paulo :Pini, 3.ed, 802p,2017.

INSTITUTO IDD. **Aprenda a fazer fundação de uma forma simples e muito econômica!**. Grupo IDD. Disponível em: <https://www.idd.edu.br/blog/idd-news/aprenda-a-fazer-fundacao-de-uma-forma-simples-e-muito-economica>. Acesso em: 14 de Maio de 2018.

LOPES, Lara de Oliveira; AYRES, Thiago Moura da Costa; FILHO, Francisco Ronildo Batista da Rocha; ARAÚJO, Carla Beatriz Costa de. **Comparativo de Custos de Execução de Estaca Hélice Contínua e Estaca Raiz** – Estudo de caso de uma obra vertical em Foz de Iguaçu. COTECC, Belém, 2017.

Manual do sondador/ Wilson Conciani (coord.) ; Carlos Petrônio Leite da Silva ... [*et al.*]. – Brasília : Editora do IFB, 2013.

NAKAMURA, Juliana. **Estaca Strauss é Alternativa para Estruturas de Pequeno Porte**. AECWeb. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/estaca-strauss-e-alternativa-para-estruturas-de-pequeno-porte_15614_39. Acesso em: 31 de Agosto de 2018.

PAGNUSSATTI, Heriberto; SANTOS, Adailton Antonio dos. **Análise Comparativa dos Métodos de Estimativa de Capacidade de Carga de Fundações Profundas** – Estudo de Caso. Unesc, Sul Catarinense, 2011.

PEREIRA, Caio. **Sapatas e Fundações**. Escola de Engenharia. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/sapatas-de-fundacao/>. Acesso em: 28 de julho de 2018.

_____. **Tubulão a céu aberto**. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tubulao-a-ceu-aberto/>. Acesso em: novembro de 2018.

_____. **Tipos de Soldagem de Solo**. Escola de Engenharia. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sondagem/>. Acesso em: 30 de julho de 2018.

_____. **Estaca Strauss – Vantagens e Desvantagens**. Escola de Engenharia. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-strauss/>. Acesso em: 30 de julho de 2018.

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

SCHNAID, Fernando. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. São Paulo-SP: Oficina de Textos, 2000.

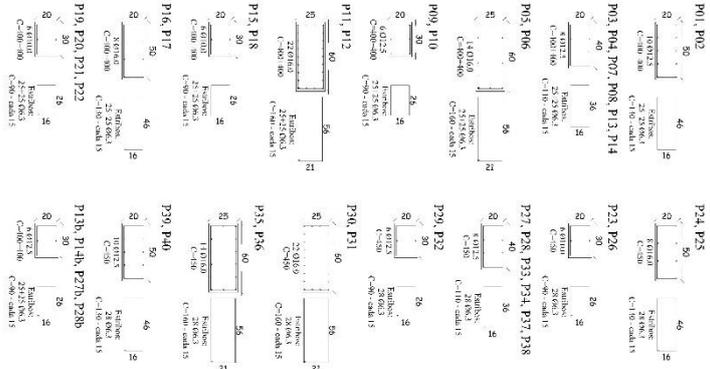
Fundação Velloso e Lopes. **Sobre projetos e fundações**. Disponível em: https://www.ofitexto.com.br/wp-content/uploads/2017/05/Funda%C3%A7%C3%B5es_Vol.-%C3%9Anico_Cap02.pdf. Acesso em: 18/08/18.

ANEXOS

ANEXO II

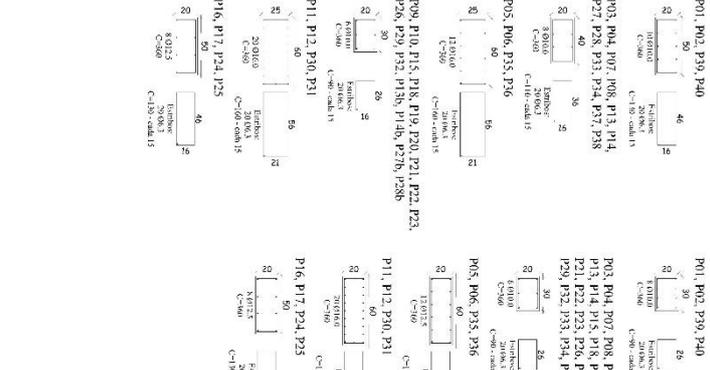
PILARES (da 1ª ligeira até a 1ª ligeira)

Esc. 1:25 (verdadeira em m)



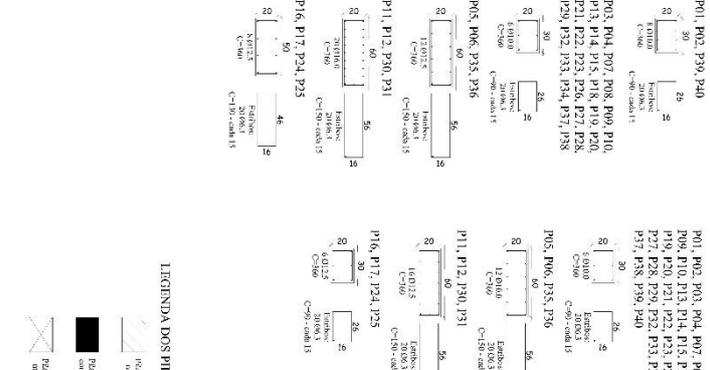
PILARES (da 1ª ligeira até a 2ª ligeira)

Esc. 1:25 (verdadeira em m)



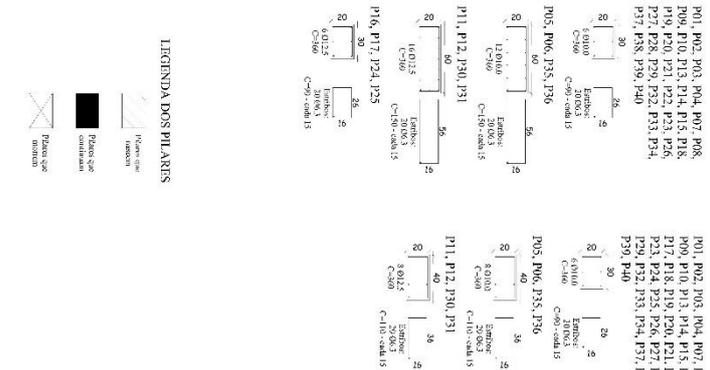
PILARES (da 2ª ligeira até a 3ª ligeira)

Esc. 1:25 (verdadeira em m)



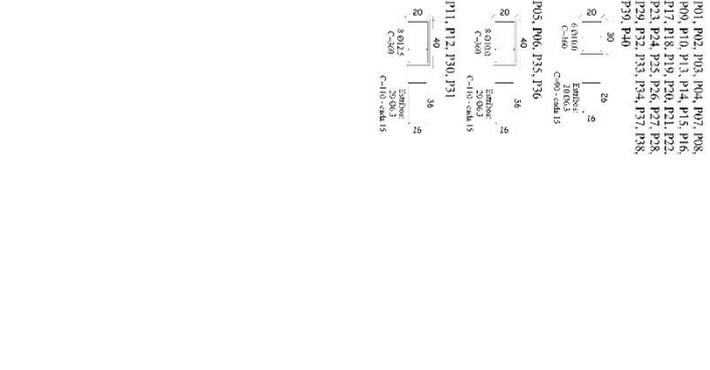
PILARES (da 3ª ligeira até a 4ª ligeira)

Esc. 1:25 (verdadeira em m)



PILARES (da 4ª ligeira até a 5ª ligeira)

Esc. 1:25 (verdadeira em m)



VIGAS MUROS DE ARRIMO

Esc. 1:25 (verdadeira em m) - nível 1.º



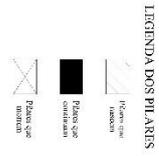
VIGAS MUROS DE ARRIMO

Esc. 1:25 (verdadeira em m) - nível 2.º

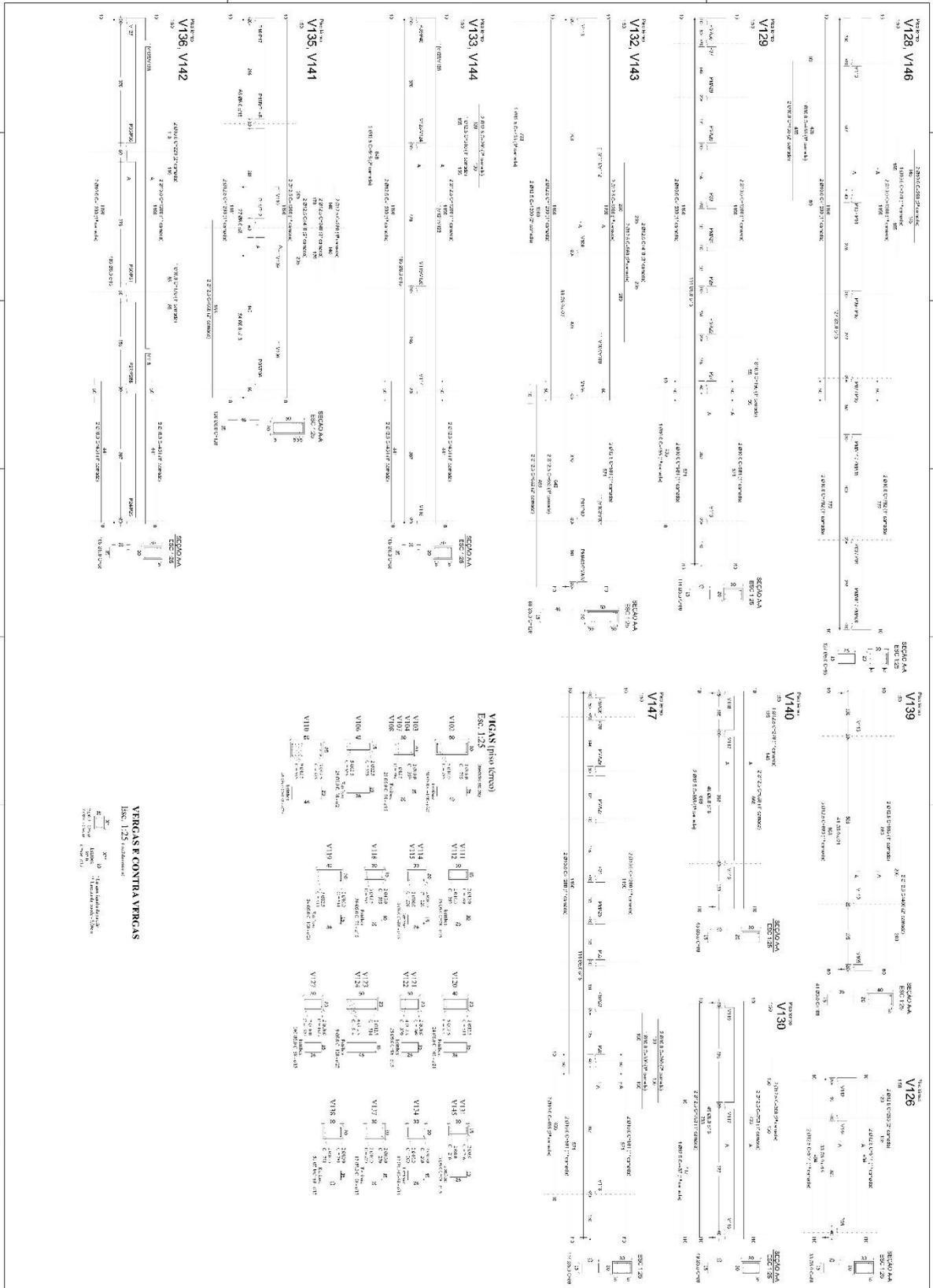


VIGAS MUROS DE ARRIMO

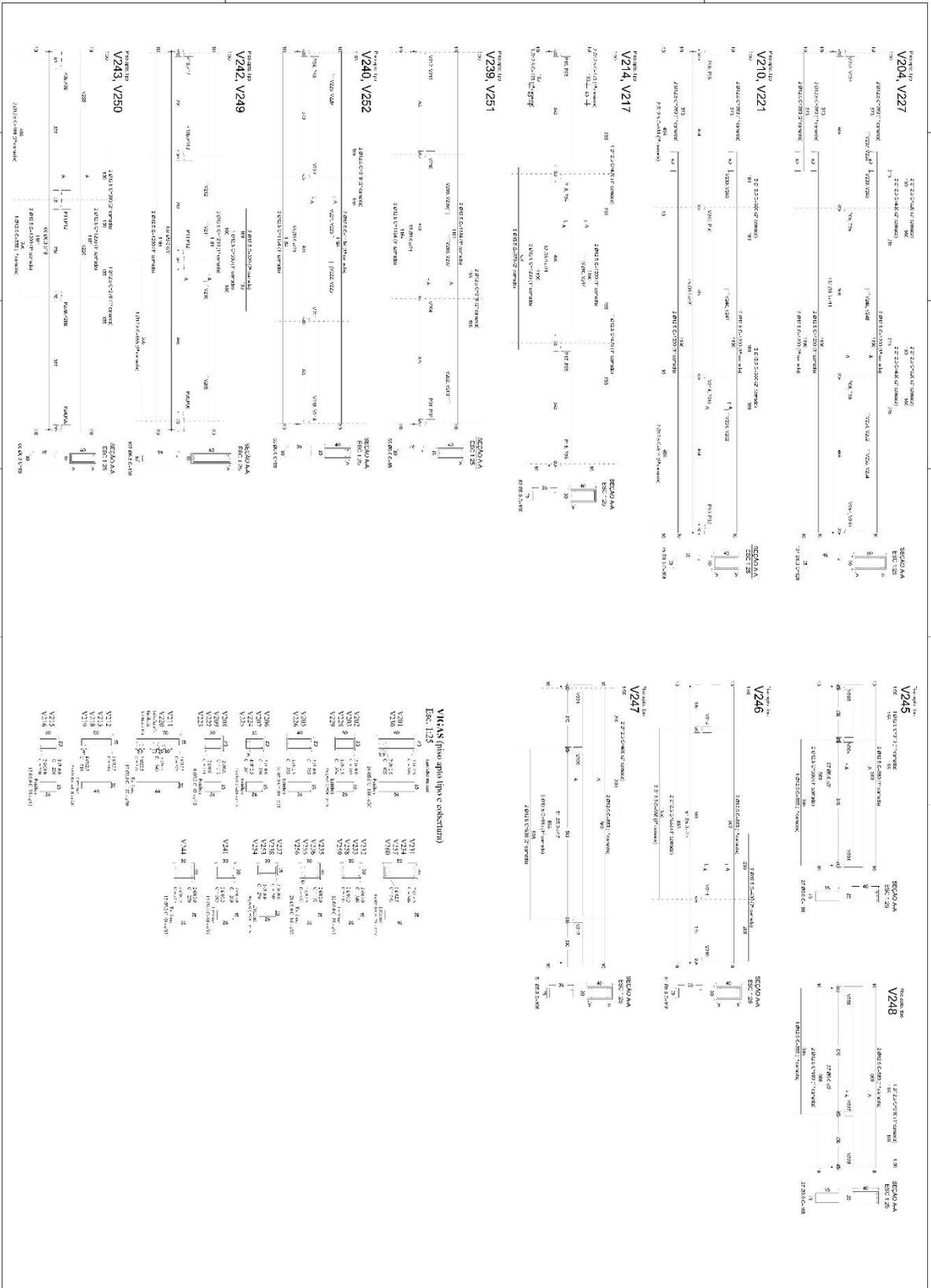
Esc. 1:25 (verdadeira em m) - nível 3.º



ANEXO IV



ANEXO V



ANEXO VI

MÉDIA DAS PROFUNDIDADES DAS ESTACAS A SEREM ADOTADAS PARA FURO SP01

TIPO DE ESTACA - HÉLICE CONTÍNUA

Diâmetros (mm) e Cap. De Carga (ton)	Teste de Profundidade e (m)	Décourt-Quaresma (ton)	Aoki-Velloso (ton)	Antunes-Cabral (ton)	Média (ton)	Profundidade e Adotada (m)
Ø25mm e 20 toneladas	9	25	16,9	15,7	19,2	>9
Ø25mm e 20 toneladas	10	30,1	20	19,4	23,16666667	10
Ø30mm e 25 toneladas	9	31	21,7	20,7	24,46666667	>9
Ø30mm e 25 toneladas	10	37,3	25,7	25,3	29,43333333	10
Ø40mm e 40 toneladas	9	44,2	32,9	32,3	36,46666667	>9
Ø40mm e 40 toneladas	10	52,9	38,5	38,9	43,43333333	10

ANEXO VII

MÉDIA DAS PROFUNDIDADES DAS ESTACAS A SEREM ADOTADAS PARA FURO SP01
TIPO DE ESTACA - STRAUSS

Diâmetros (mm) e Cap. De Carga (ton)	Teste de Profundidade (m)	Décourt-Quaresma (ton)	Aoki-Velloso (ton)	Antunes-Cabral (ton)	Média (ton)	Profundidade Adotada (m)
Ø25mm e 20 toneladas	9	22,7	14,8		18,75	>9
Ø25mm e 20 toneladas	10	25,6	17,1		21,35	10
Ø30mm e 25 toneladas	9	28,8	18,9		23,85	>9
Ø30mm e 25 toneladas	10	33,7	22,5		28,1	10
Ø40mm e 40 toneladas	9	44	28		36	>9
Ø40mm e 40 toneladas	10	51,2	33,1		42,15	10

ANEXO VIII

MÉDIA DAS PROFUNDIDADES DAS ESTACAS A SEREM ADOTADAS PARA FURO SP02

TIPO DE ESTACA - HÉLICE CONTÍNUA

Diâmetros (mm) e Cap. De Carga (ton)	Teste de Profundidad e (m)	Décourt-Quaresma (ton)	Aoki-Velloso (ton)	Antunes-Cabral (ton)	Média (ton)	Profundidad e Adotada (m)
Ø25mm e 20 toneladas	9	25,4	16,8	24,5	22,23333333	9
Ø25mm e 20 toneladas	10	29,8	19,2	28,7	25,9	10
Ø30mm e 25 toneladas	9	31,5	21,7	32,1	28,43333333	9
Ø30mm e 25 toneladas	10	36,9	24,6	37,2	32,9	10
Ø40mm e 40 toneladas	9	45	33	50,1	42,7	9
Ø40mm e 40 toneladas	10	52,1	36,9	56,9	48,63333333	10

ANEXO IX

MÉDIA DAS PROFUNDIDADES DAS ESTACAS A SEREM ADOTADAS PARA FURO SP02

TIPO DE ESTACA - STRAUSS

Diâmetros (mm) e Cap. De Carga (ton)	Teste de Profundidade (m)	Décourt-Quaresma (ton)	Aoki-Velloso (ton)	Antunes-Cabral (ton)	Média (ton)	Profundidade Adotada (m)
Ø25mm e 20 toneladas	9	22,7	14,8		18,75	>9
Ø25mm e 20 toneladas	10	25,6	17,1		21,35	10
Ø30mm e 25 toneladas	9	29,4	18,8		24,1	>9
Ø30mm e 25 toneladas	10	32,9	21,6		27,25	10
Ø40mm e 40 toneladas	9	45	28		36,5	>9
Ø40mm e 40 toneladas	10	49,6	31,7		40,65	10

ANEXO X

MÉDIA DAS PROFUNDIDADES DAS ESTACAS A SEREM ADOTADAS PARA FURO SP03
TIPO DE ESTACA - HÉLICE CONTÍNUA

Diâmetros (mm) e Cap. De Carga (ton)	Teste de Profundidade e (m)	Décourt-Quaresma (ton)	Aoki-Velloso (ton)	Antunes-Cabral (ton)	Média (ton)	Profundidade e Adotada (m)
Ø25mm e 20 toneladas	9	22,8	14,9	15,3	17,66666667	>9
Ø25mm e 20 toneladas	10	27,5	17,7	18,5	21,23333333	10
Ø30mm e 25 toneladas	9	31,5	21,7	20	24,4	>9
Ø30mm e 25 toneladas	10	36,9	24,6	24	28,5	10
Ø40mm e 40 toneladas	9	45	33	31	36,33333333	>9
Ø40mm e 40 toneladas	10	52,1	36,9	36,7	41,9	10

ANEXO XI

MÉDIA DAS PROFUNDIDADES DAS ESTACAS A SEREM ADOTADAS PARA FURO SP03
TIPO DE ESTACA - STRAUSS

Diâmetros (mm) e Cap. De Carga (ton)	Teste de Profundidade (m)	Décourt-Quaresma (ton)	Aoki-Velloso (ton)	Antunes-Cabral (ton)	Média (ton)	Profundidade Adotada (m)
Ø25mm e 20 toneladas	10	23,8	15,6		19,7	>10
Ø25mm e 20 toneladas	11	27,4	18,3		22,85	11
Ø30mm e 25 toneladas	9	26,5	16,7		21,6	>9
Ø30mm e 25 toneladas	10	30,7	19,8		25,25	10
Ø40mm e 40 toneladas	10	46,6	29,2		37,9	>10
Ø40mm e 40 toneladas	11	52,9	33,8		43,35	11