



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ALESSIO NUNES**  
**LAYSA MARIANE FONSECA RAMOS**

**ESTUDO COMPARATIVO DE TUBULÃO COM BASE**  
**ALARGADA E SEM BASE ALARGADA**

**PUBLICAÇÃO Nº: 05**

**GOIANÉSIA / GO**  
**2021**



**ALESSIO NUNES**  
**LAYSA MARIANE FONSECA RAMOS**

**ESTUDO COMPARATIVO DE TUBULÃO COM BASE  
ALARGADA E SEM BASE ALARGADA**

**PUBLICAÇÃO Nº: 05**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: ME. IGOR CEZAR SILVA BRAGA**

**GOIANÉSIA / GO: 2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

NUNES, ALESSIO.  
RAMOS, LAYSA MARIANE FONSECA.

Estudo comparativo de tubulão com base alargada e sem base alargada, 2021xi, 85P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Fundação profunda	2. Dimensionamento geométrico e estrutural
3. Comparação analítica e numérica	4. Estruturas
I. ENC/FACEG e sem base alargada	II. Estudo comparativo de tubulão com base alargada

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NUNES, A.; RAMOS, L. M. F. Estudo comparativo de tubulão com base alargada e sem base alargada. TCC, Publicação ENC. PF-001A/05, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG), Goianésia, GO, 85p. 2021.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Alessio Nunes, Laysa Mariane Fonseca Ramos.

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo comparativo de tubulão com base alargada e sem base alargada.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2021

É concedida à FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

*Alessio Nunes*

Alessio Nunes  
Rua Rialma Qd. 33 Lt. 5-A, Res. Granville  
76.382-337 – Goianésia/GO – Brasil

*Laysa Mariane Fonseca Ramos*

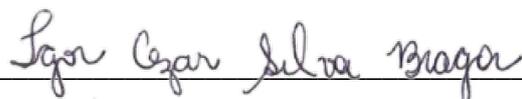
Laysa Mariane Fonseca Ramos  
Rua Catulé Qd. 32 Lt. 08, Pq. Das Palmeiras I  
76.386-140 – Goianésia/GO – Brasil

**ALESSIO NUNES  
LAYSA MARIANE FONSECA RAMOS**

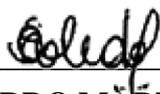
**ESTUDO COMPARATIVO DE TUBULÃO COM BASE  
ALARGADA E SEM BASE ALARGADA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

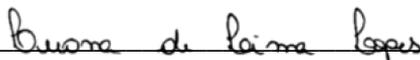
**APROVADO POR:**



**IGOR CEZAR SILVA BRAGA, mestre (FACEG)  
(ORIENTADOR)**



**EDUARDO MÁRTINS TOLEDO, mestre (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**



**LUANA DE LIMA LOPES, mestre (UFU)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: GOIANÉSIA/GO, 25 de MAIO de 2021.**

*Dedico este trabalho:*  
à Deus;  
à minha mãe, Niralva;  
à minha noiva, Estefane;  
à minha irmã, Ana Carolina e  
aos meus avós, Caci e Osvaldo (in memórian).  
**Alessio Nunes**

*Dedico este trabalho:*  
aos meus pais, Messias (in memórian) e Rosemar;  
à minha irmã, Bruna Layra;  
aos meus avós Sebastião (in memórian) e Maria Madalena;  
aos meus padrinhos Paulo Sérgio e Lucimar e  
à minha prima Alicia.  
**Laysa Mariane Fonseca Ramos**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por ouvir minhas orações e nunca deixar eu desistir dos meus sonhos, já que cursar Engenharia Civil era um sonho desde a infância. Agradeço pelas pessoas que Ele fez cruzar no meu caminho e colocou na minha vida para me guiar.

Agradeço minha família, em especial minha mãe, Niralva Ferreira Nunes, que sempre acreditou em mim e juntamente comigo sonhou para que esse momento pudesse acontecer. Sem medir esforços, sempre me apoiou e ajudou em tudo que precisei. E a minha noiva, Estefane Barbosa de Faria, por me apoiar, me ajudar e sempre estar presente em cada etapa dessa fase.

De forma especial, agradeço muitíssimo minha amiga e dupla desse trabalho, Laysa Mariane Fonseca Ramos, sempre esteve ao meu lado me ajudando em tudo e me apoiando em todos os momentos. Foi sem dúvidas, uma das pessoas mais importantes para minha graduação.

Sou imensamente grato aos meus professores, especialmente ao nosso orientador Me. Igor Cezar Silva Braga, por toda paciência que teve para ensinar e nos proporcionar grandes conhecimentos que irei levar para vida toda. Também, quero agradecer o professor Robson de Oliveira Félix que no decorrer do curso sempre me ajudou na busca de conhecimentos com muita dedicação e empenho. Também, ao Dr. Jadson Belém de Moura que me fez despertar o interesse por pesquisas e inovação, nos proporcionando momentos valiosos na vida acadêmica.

Aos meus amigos que conheci na faculdade, que se tornaram como parte da minha família. Sempre me ajudaram e torceram pelo meu sucesso e nunca me deixaram desistir.

No mais, agradeço a cada um que esteve presente nessa fase da minha vida. Muito obrigado.

*Alessio Nunes*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me proporcionado realizar um dos meus sonhos, que é a graduação em Engenharia Civil, e por conceder paciência, foco e determinação para chegar até onde consegui e crescimento no âmbito pessoal e profissional.

Tenho imensa gratidão também aos meus pais, Messias Ramos da Cruz (in memórian) e Rosemar Fonseca Ramos, por nunca medirem esforços e terem empenhado completamente na minha formação. À minha irmã, Bruna Layra, que acompanhou diariamente minhas lutas e vitórias. Agradeço a todos, por terem tido paciência, aguentado minhas crises de estresse e choro, por não me deixarem desistir e contribuírem financeiramente e psicologicamente quando foi necessário. Vocês são tudo pra mim.

Sou grata aos meus avós, Sebastião Francisco da Fonseca (in memórian) e Maria Madalena da Fonseca, que sempre os tive como exemplo e transbordam orgulho por mim. Aos meus padrinhos, Paulo Sérgio Fonseca e Lucimar Aparecida Fonseca, por acreditarem no meu potencial e me influenciarem positivamente, demonstrando apoio e satisfação pela minha trajetória. À minha prima Alicia, que sempre encheu meus dias de alegria, amor e motivação.

De forma especial, agradeço ao meu orientador prof. Me. Igor Cezar Silva Braga, pelo tempo e dedicação, por oferecer tanto conhecimento e nos mostrar o caminho correto, sempre o terei como exemplo a seguir. Ao meu querido parceiro e amigo, Alessio Nunes, que desde o início esteve ao meu lado, foi meu amparo nos momentos bons e ruins e que sempre agregou na minha vida acadêmica e pessoal, continue essa pessoa incrível, te admiro muito.

À Andressa Pereira, Alex Soares, Christiane Martins, Gustavo Couto, Leomar Rodrigues e Marcos Vinícius, que me marcaram e ensinaram diariamente, minhas amigas construídas nesses cinco anos que quero levar para o resto da vida, contem comigo para tudo.

No mais, agradeço ao prof. Luiz Tomaz de Aquino que me ofereceu o primeiro estágio na área, aos engenheiros Dionei Antônio Romeiro e Bruno Brito Guimarães que também me inseriram no mercado, ao prof. Dr. Jadson Belém de Moura que nos mostrou a importância da ciência e da pesquisa.

Agradeço ainda Graziela Ferreira Miranda Costa, Liliane Aparecida Valentim, Edvam da Costa Silva, Joseane Ribeiro, João Ribeiro, Maria de Fátima, Augusto Dias e Augusto Cardoso. E meu muito obrigada a todos os meus professores, familiares e amigos.

*Laysa Mariane Fonseca Ramos*

*“Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar; não apenas planejar, mas também acreditar.”*  
**Anatole France**

## RESUMO

Fundação é a parte estrutural de uma edificação que é responsável por absorver e transmitir cargas para o solo subjacente. Para seu dimensionamento é essencial discernir o que vem a ser uma fundação do tipo rasa e do tipo profunda, quais são suas variações, o tipo de solo que comporta tal tipo de estrutura, qual o melhor método construtivo em cada ocasião, conhecer as normas vigentes e o caminho mais viável que garanta a vida útil da construção. Neste trabalho foi feita uma abordagem das fundações profundas, mais especificamente dos tubulões, sendo estes caracterizados por sua resistência de ponta e também lateral, uma vez que sua base pode ser alargada e na sua fase final faz-se necessário a descida de operários para execução dessa ampliação ou até mesmo limpeza do fundo da escavação. Desenvolveu-se uma análise comparativa de uma fundação do tipo tubulão com base alargada com um tubulão sem a base alargada, analiticamente. Além disso, comparou-se os resultados obtidos de maneira analítica para um tubulão sem a base alargada, modelado numericamente por um *software* de engenharia. Em seu desenvolvimento foram realizadas pesquisas em referenciais bibliográficos, como maneira de conhecer melhor as exigências, parâmetros e métodos de dimensionamento. A partir de uma verificação de um laudo de sondagem, seguiu-se para definição de alguns parâmetros do solo e com os dados em mãos fez-se um dimensionamento geométrico e estrutural, analiticamente, para estabelecer as comparações desses cálculos com os resultados do método numérico. Paralelamente, o tubulão com base alargada suportou uma carga quase 15 vezes maior que o tubulão sem alargamento, ressaltando-se que foi utilizado o mesmo valor de tensão admissível para que obtivesse uma análise equivalente. O tubulão sem base alargada resistiu apenas 6,5% do que o tubulão de base alargada, onde dentre as opções apresentadas, o tubulão de base alargada foi apontado como melhor solução por oferecer maior estabilidade e suportar maiores cargas, além de que conforme as verificações feitas e preceitos adotados em concordância com as normativas, todas as convenções foram atendidas.

**Palavras-chave:** fundação profunda; dimensionamento geométrico e estrutural; comparação analítica e numérica; estruturas.

## ABSTRACT

Foundation is the structural part of a building that's responsible for absorb and convey loads to the underlying soil. For your sizing, it's essential to discern what is a shallow and deep foundation, what are your variations, the type of soil that includes this type of structure, what's the best construction method in each occasion, to know the current rules and the most viable way to guarantee the useful life of the construction. In this work, an approach of the deep foundations was made, more specifically to the tubules, which are characterized by their edge resistance and also lateral, since your base can be widened and in final phase could be necessary to lower the workers for execution this expansion or even cleaning the bottom of the excavation. Developed a comparative analysis of a tubule type foundation with an enlarged base, with a tubulon without the enlarged base, analytically. In addition, it was compared the results obtained in an analytical way for a tubule without the extended base, numerically modeled by an engineering software. In this development, research was carried out on bibliographic references, as a way to better understand the requirements, parameters and design methods. To verification of a sounding report, it was followed to define some soil parameters and with the data in hand, a geometric and structural dimensioning was made, analytically, to establish the comparisons of these calculations with the results of the numerical method. At the same time, the flange with an extended base supported a load almost 15 times greater than the flange without flare, emphasizing that the same allowable tension value was used to obtain an equivalent analysis. The tubule without extended base resisted only 6.5% than the tubule with extended base, where among the options presented, the tubule with extended base was pointed out as the best solution for offering greater stability and supporting greater loads, besides that according to the checks made and precepts adopted in accordance with the norms, all conventions were attended.

**Keywords:** deep foundation; geometric and structural dimensioning; analytical and numerical comparison; structures.

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 2.1</b> – Tubulão a céu aberto.....	7
<b>Figura 2.2</b> – Tubulão a ar comprimido.....	7
<b>Figura 2.3</b> – Viaduto da cidade de Criciúma-SC.....	8
<b>Figura 2.4</b> – Escavações no Estádio Governador Magalhães Pinto (Mineirão).....	8
<b>Figura 2.5</b> – Detalhes geométricos de um tubulão com base alargada.....	9
<b>Figura 2.6</b> – Diâmetro de base no formato circular.....	14
<b>Figura 2.7</b> – Diâmetro de base no formato de falsa elipse.....	15
<b>Figura 3.1</b> – Tubulão dimensionado sem base alargada.....	19
<b>Figura 3.2</b> – Tubulão dimensionado com base alargada.....	20
<b>Figura 4.1</b> – Configuração do tubulão sem base alargada.....	23
<b>Figura 4.2</b> – Configuração do tubulão com base alargada.....	24

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 2.1</b> – Classificação do solo em função do índice de resistência.....	10
<b>Tabela 2.2</b> – Peso específico de solos argilosos.....	10
<b>Tabela 2.3</b> – Peso específico de solos arenosos.....	11
<b>Tabela 2.4</b> – Fatores de forma de Terzaghi (1943).....	12
<b>Tabela 3.1</b> – Parâmetros do solo.....	18
<b>Tabela 4.1</b> – Caso 1: comparação da carga suportada.....	22
<b>Tabela 4.2</b> – Caso 1: comparação do diâmetro.....	22
<b>Tabela 4.3</b> – Caso 1: comparação da armadura.....	22
<b>Tabela 4.4</b> – Caso 2: comparação da carga suportada.....	23
<b>Tabela 4.5</b> – Caso 2: comparação do diâmetro.....	24
<b>Tabela 4.6</b> – Caso 2: comparação da armadura.....	24
<b>Tabela 4.7</b> – Porcentagem de carga suportada.....	25

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

cm – Centímetros

cm<sup>2</sup> – Centímetros quadrados

cm<sup>2</sup>/m – Centímetros quadrados por metro

kN/m – Quilo Newton por metro

kN/m<sup>3</sup> – Quilo Newton por metro cúbico

kPa – Quilo Pascal

m – Metros

m<sup>2</sup> – Metros quadrados

MPa – Mega Pascal

n<sup>o</sup> – Número

NBR – Norma Técnica Brasileira

NR – Norma Regulamentadora

SPT – *Standard Penetration Test*

tf – Tonelada força

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $H$  – Altura da base do tubulão;  
 $d'$  – Altura útil;  
 $\varphi$  – Ângulo de atrito;  
 $\alpha$  – Ângulo de inclinação;  
 $Ab$  – Área da base;  
 $AS_M$  – Área de aço;  
 $Af$  – Área do fuste;  
 $A_{ef}$  – Área efetiva;  
 $P$  – Carga atuante;  
 $q_2$  – Carga da camada de apoio;  
 $q_1$  – Carga da segunda camada do solo;  
 $N_d$  – Carga majorada;  
 $N_C$  – Coeficiente de capacidade de carga (ruptura geral);  
 $N_s$  – Coeficiente de capacidade de carga (ruptura geral);  
 $N_{q2}$  – Coeficiente de capacidade de carga (ruptura geral);  
 $N'_{q1}$  – Coeficiente de capacidade de carga (ruptura local);  
 $C$  – Coesão da camada de apoio do solo;  
 $D$  – Diâmetro da base;  
 $d$  – Diâmetro do fuste;  
 $\varnothing_L$  – Diâmetro longitudinal;  
 $B$  – Dimensão da base;  
 $S$  – Espaçamento;  
 $S_C$  – Fator de forma;  
 $S_s$  – Fator de forma;  
 $S_{q2}$  – Fator de forma da camada de apoio;  
 $S_{q1}$  – Fator de forma da primeira camada do solo;  
 $F_S$  – Fator de segurança;  
 $N_{SPT}$  – Índice de resistência à penetração;  
 $>$  – Maior;  
 $\geq$  – Maior ou igual;  
 $<$  – Menor;  
 $\leq$  – Menor ou igual;

$M_d$  – Momento fletor solicitante;

$\gamma$  – Peso específico da camada de apoio;

$P_d$  – Pressão solicitante no solo;

$N$  – Quantidade de barras;

$X$  – Raio do tubulão;

$f_{ck}$  – Resistência característica do concreto à compressão;

$tg$  – Tangente;

$\sigma_{adm}$  – Tensão admissível;

$f_{yd}$  – Tensão de escoamento do aço;

$\sigma_{rup}$  – Tensão de ruptura.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>iv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 OBJETIVOS .....	2
<b>1.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>2</b>
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	3
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1 ESCOLHA DO TIPO DE FUNDAÇÃO .....	4
<b>2.1.1 Fatores condicionantes .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2 Análise do solo.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.3 Tipos de edificações .....</b>	<b>5</b>
2.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS.....	5
<b>2.2.1 Tipos de fundações profundas .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.2 Características e métodos construtivos do tubulão .....</b>	<b>6</b>
2.3 TUBULÃO .....	6
<b>2.3.1 Tipos de tubulão.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3.2 Vantagens.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.3 Edificações brasileiras com utilização de tubulão .....</b>	<b>8</b>
2.4 DIMENSIONAMENTO.....	9
<b>2.4.1 Dimensionamento geométrico .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4.2 Dimensionamento estrutural .....</b>	<b>16</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>18</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>28</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>31</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>37</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em análise ao cenário social contemporâneo constata-se quão importante a engenharia tem sido no desenvolvimento da humanidade. Ao se tratar da área da construção civil, tem-se verdadeiras maravilhas espalhadas pelo mundo, tais como as Pirâmides do Egito, Muralha da China, Torre Eiffel e outras que são referência no trajeto da sobrevivência e evolução humana.

Mota (2009), pontua três partes fundamentais de um sistema estrutural de uma edificação, sendo essas a superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, estando em interação constante. A autora exemplifica como elementos da superestrutura, as vigas, pilares e lajes, na infraestrutura, os blocos, as estacas e as sapatas, e por último, os maciços de solos.

Ao iniciar da parte inferior, Souza e Garcia (2014), ressaltam a importância dos solos no suporte e distribuição de cargas e tensões recebidas das edificações, podendo ainda serem utilizados como material na construção de barragens e aterros. Portanto, conforme Hachich *et al.* (2016), o próprio homem neolítico desde a execução das suas primeiras cabanas, já havia certo conhecimento empírico acerca da estabilidade dos materiais da crosta terrestre.

Na sequência, evidenciando-se a parte estrutural, Pereira e Santos (2013), definem fundação como a parte responsável por transmitir as cargas ao terreno subjacente. Desta maneira, faz-se imprescindível a presença de uma fundação dimensionada e executada de maneira correta, ressaltando-se ainda a relevância da evolução dos estudos da engenharia de fundações.

Neste trabalho, será feito uma abordagem das fundações profundas, mais especificamente, dos tubulões. Condizente com a NBR 6122 (ABNT, 2019), o tubulão é caracterizado por sua resistência de ponta e também lateral, uma vez que sua base é alargada e na sua fase final faz-se necessário a descida de operários para execução dessa ampliação ou até mesmo limpeza do fundo da escavação.

Sendo assim, será apresentada uma análise comparativa através de um dimensionamento de fundação de um tubulão com base alargada e outro sem a base alargada, além de algumas ressalvas do projeto estudado.

Faz-se relevante o estudo dessa temática pois análogo à Cunha (2016), para qualquer obra de engenharia, seu projeto de fundações implicará em gastos significativos e se não previstos de maneira criteriosa, tendo uma escolha assertiva de materiais e métodos construtivos, pode acarretar complicações e patologias, salvo até mesmo o colapso estrutural.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Ao analisar os diferentes perfis geotécnicos e os tipos de fundações comumente utilizadas, vê-se a importância do estudo e planejamento estrutural de uma edificação, pois a partir da escolha desses parâmetros pretende-se traçar a vida útil da construção.

Cunha (2016), cita a relevância dos tubulões para regiões onde as camadas iniciais do solo são de baixa resistência e também para obras de grande porte. Portanto, levando em consideração a fundação deste trabalho, pode-se dizer que a mesma transmite consideráveis esforços em seu terreno.

Torna-se dever do engenheiro civil ter a capacidade de observar com olhar crítico a respeito das decisões pelo caminho mais viável, seguro e rentável de uma obra, e se tratando dos tubulões, nas palavras de Santos (2019), atentar às normas e cumprimento dos processos da engenharia de segurança do trabalho, assumindo as responsabilidades e fazendo o possível para alinhar o conhecimento técnico e prático na execução.

Portanto, esse trabalho justifica-se pelo desenvolvimento de uma análise e dimensionamentos, comparando-se os resultados obtidos e cumprindo-se os objetivos estabelecidos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho pretende desenvolver uma análise comparativa de uma fundação do tipo tubulão com base alargada com um tubulão sem a base alargada, analiticamente. Além disso, comparar os resultados obtidos de maneira analítica para um tubulão sem a base alargada, modelado numericamente por um *software* de engenharia.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Conhecer fundações profundas;
- Dimensionar um tubulão com a base alargada e não alargada;
- Analisar um projeto de fundações;
- Comparar os resultados analíticos e numéricos;
- Pontuar as diferenças encontradas nos dois métodos.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. No capítulo 2 foi apresentado o referencial teórico, onde foi embasado toda parte voltada à conceituação e definições de fundações e suas particularidades. Na sequência, no capítulo 3 foi elaborado o passo a passo percorrido para atingir os objetivos estabelecidos, sendo mostrado dados de projeto e demais informações pertinentes.

Já no capítulo 4 é possível observar a discussão dos resultados encontrados através de uma comparativo numérico e analítico. E por fim, no capítulo 5 vê-se as conclusões e aplicabilidade do conteúdo da pesquisa e também ponderações para possíveis trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ESCOLHA DO TIPO DE FUNDAÇÃO

A NBR 6122 (ABNT, 2019), define dois tipos de fundações, rasas e profundas. De acordo com a norma, as fundações rasas são aquelas em que a base está numa profundidade menor que o dobro do tamanho mínimo da fundação, sendo que as fundações profundas são caracterizadas pela transmissão de cargas através da base e laterais, com profundidade acima de 3 metros.

#### 2.1.1 Fatores condicionantes

Mota (2009), expõe três principais fatores influentes na interação da estrutura com o solo: sequência construtiva, rigidez e número de pavimentos da construção. Savaris, Hallak e Maia (2010), explicam a relação dessas condições da seguinte maneira: quanto mais andares na estrutura, maior será a rigidez no sentido vertical (visto que esse coeficiente não acompanha linearmente a quantidade de pavimentos) levando ainda em consideração que as partes mais baixas sofrem maiores flexões.

#### 2.1.2 Análise do solo

Antes de iniciar qualquer obra, o conhecimento da região e topografia local faz-se necessário. Por isso, Oliveira e Amaro (2016), comentam acerca da resposta do solo à carga aplicada, sendo fundamental o conhecimento do terreno.

Oliveira e Amaro (2016), acrescentam ainda sobre a indispensabilidade da sondagem à percussão, pois a partir dos resultados do ensaio SPT (*Standart Penetration Test*) conhece-se desde as camadas iniciais até as camadas mais profundas da crosta terrestre e onde o lençol freático encontra-se.

Souza e Garcia (2014), discorrem sobre ensaio SPT, sendo feito através deste o reconhecimento do tipo de solo e também o nível de água do terreno. Tendo em mãos a planta com os furos alocados faz-se a retirada das amostras a cada metro que é perfurado, sendo recomendado ainda, que o material coletado seja armazenado corretamente em caixas ou sacos plásticos, sem exposição ao sol ou à altas temperaturas.

É indispensável também estar alinhado com a NBR 8036 (ABNT, 1983), pois define-se algumas condições conforme o modelo estrutural:

- Uma sondagem a cada 200 m<sup>2</sup> de área projetada de um total de até 1200 m<sup>2</sup>;
- Uma sondagem a cada 400 m<sup>2</sup> de área projetada de um total de 1200 m<sup>2</sup> até 2400 m<sup>2</sup>;
- Acima da área de 2400 m<sup>2</sup>, faz-se a quantidade de sondagens acordadas com a particularidade da construção.

Para demais ocasiões, a quantidade mínima de sondagens é de dois furos para até 200 m<sup>2</sup> e três furos para dimensões que vão de 200 até 400 m<sup>2</sup>.

### **2.1.3 Tipos de edificações**

É imprescindível fazer também uma análise histórica acerca dos diversos tipos de edificações, no que diz Silva e Gonçalves (2018), tomando posse da bagagem de experiências e conhecimentos acumulados desde as construções pré-históricas até as mais contemporâneas.

Oliveira e Amaro (2016), relacionam o aumento populacional com o desenvolvimento dos centros urbanos, o que decorre no crescimento dos setores da engenharia civil, surgindo uma demanda por construções de grande porte, em maioria, e consequentemente, estruturas que devem suportar cargas elevadas.

Ainda nessa linha de raciocínio, retomando a fala de Cunha (2016), o tipo de fundação do estudo em questão é recomendada para regiões onde as primeiras camadas do solo possuem baixa resistência e, sem dúvidas, para edificações mais incorporadas.

## **2.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS**

### **2.2.1 Tipos de fundações profundas**

Em revisão à NBR 6122 (ABNT, 2019), nessa classificação estão inseridas as estacas e os tubulões. A Norma define estacas como os elementos básicos que são executados sem trabalho manual, sendo feito apenas por equipamentos e ferramentas, podendo originar-se de materiais como argamassa, madeira, concreto, aço, dentre outros.

Pode-se dizer que a principal diferença entre as estacas e os tubulões é além do método construtivo, a capacidade dos tubulões de suportar maiores cargas. Ainda considerando as prescrições da normativa, têm-se que dependendo do tipo de tubulão empregado existe a diferença desse elemento ter uma base alargada, enquanto que a estaca tem uma dimensão contínua ao longo de seu comprimento. Conforme mencionado

anteriormente, as estacas também podem ser de outro material que não seja o concreto, o que pode elevar os custos quando comparado à execução do tubulão.

Oliveira e Amaro (2016), trazem o tubulão como um elemento onde o diâmetro do fuste é inferior ao diâmetro de sua base, além de que sua capacidade de carga destaca-se pela maior resistência da base no contato direto com o solo, não esquecendo-se de sua resistência lateral.

### **2.2.2 Características e métodos construtivos do tubulão**

O tubulão pode ou não ter uma base alargada, que nas palavras de Trojahn (2017), a escolha dependerá diretamente do tipo de solo onde a estrutura será assentada. As três principais operações consistem na escavação, colocação da armadura projetada e concretagem, sendo realizadas nessa sequência.

A autora explica ainda que na escavação faz-se utilização de trados, durante a perfuração do poço, pode ou não ser feito contenção lateral, e por fim, a concretagem através de lançamento do concreto ou bombeamento.

Marinho (2020), determina que o tubulão com base alargada é mais recomendado para fundações que encontram-se próximas da divisa do terreno ou quando há risco de desabamento, visto que nas ocasiões onde a edificação deve apenas equilibrar seu próprio peso pode-se utilizar o tubulão sem base alargada.

## **2.3 TUBULÃO**

### **2.3.1 Tipos de tubulão**

Existem duas classificações para o tubulão, podendo ser a céu aberto ou pneumático. O tubulão a céu aberto tem a necessidade da descida de operários em sua base, seja para realizar sua limpeza ou alargamento, como explicado por Cunha (2016). Essa etapa deve acontecer de maneira cautelosa, não oferecendo riscos para os trabalhadores, onde todo o canteiro de obras deve estar também em conformidade com a Norma Regulamentadora nº 18 (BRASIL, 2020), que diz respeito à segurança e saúde no trabalho e na indústria da construção. Segue abaixo, na Figura 2.1, um exemplo de tubulão a céu aberto:

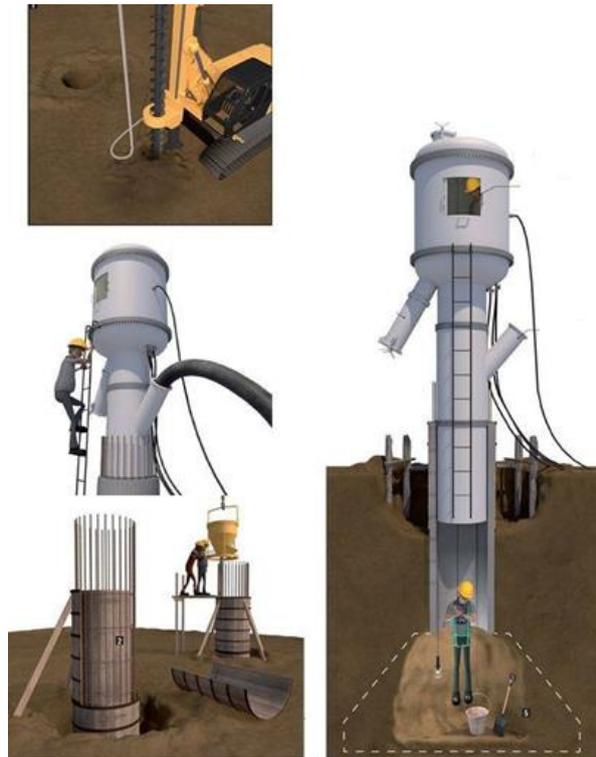
**Figura 2.1** - Tubulão a céu aberto.



Fonte: AVILA, 2020.

Já o tubulão a ar comprimido era comumente utilizado onde não havia chances de esgotamento do lençol freático, ou em locais onde existiam riscos de desabamento conforme Oliveira e Amaro (2016), exemplificado na Figura 2.2:

**Figura 2.2** - Tubulão a ar comprimido.



Fonte: PEREIRA, 2018 (modificado).

A Norma Regulamentadora nº 18 (BRASIL, 2020), teve uma alteração em seu item 18.7.2.23 que entrará em vigência a partir de 2021, onde não será mais permitido a execução dos tubulões a ar comprimido, devido os operadores ficarem diretamente expostos a pressão hiperbárica.

### 2.3.2 Vantagens

Oliveira e Amaro (2016), discorrem em seu trabalho sobre as principais vantagens da utilização do tubulão, seja a céu aberto ou a ar comprimido, como pode ser listado abaixo:

- Quando comparado, por exemplo, com as estacas, seu método construtivo é mais silencioso;
- Pode ser feito abaixo do nível da água;
- Cada pilar pode ter um fuste único;
- Se utilizadas as escavações mecânicas podem transpassar até mesmo matacões e pedras;
- Em relação ao maquinário necessário tem-se um custo baixo;
- Suas dimensões, como comprimento e diâmetro, podem ser otimizadas durante o procedimento de escavação.

### 2.3.3 Edificações brasileiras com utilização de tubulão

Com a intenção de exemplificar algumas edificações no Brasil onde a fundação utilizada foi o tubulão, segue na Figura 2.3 e Figura 2.4 alguns modelos:

**Figura 2.3** - Viaduto da cidade de Criciúma-SC.



**Fonte:** PEREIRA; SANTOS, 2013.

**Figura 2.4** - Escavações no Estádio Governador Magalhães Pinto (Mineirão).



**Fonte:** COUTINHO, 2011.

## 2.4 DIMENSIONAMENTO

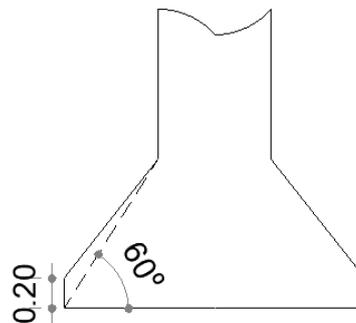
Neste trabalho será apresentado dois tipos de dimensionamento, geométrico e estrutural, ambos pautados nos parâmetros restritos à tubulões da NBR 6122 (ABNT, 2019), e demais bibliografias pertinentes.

Quanto à norma, é indicado que quando houver aplicação do método de valores admissíveis, o fator ponderador deve ser 1,4 para o cálculo da carga admissível. Para a determinação dessa grandeza é necessário ainda considerar alguns aspectos:

- Características geomecânicas do subsolo;
- Profundidade da ponta/base do tubulão;
- Dimensões e forma dos elementos de fundação;
- Posição do nível da água;
- Características ou peculiaridades da obra;
- Dentre outros.

No item 8.2.3.6.1 recomenda-se que no dimensionamento da base sua altura não ultrapasse 1,8 m, no caso de base alargada em formato de cone cilíndrico o rodapé deve ter no mínimo 20 cm e ângulo de inclinação maior ou igual a 60°, conforme Figura 2.5:

**Figura 2.5** – Detalhes geométricos de um tubulão com base alargada.



**Fonte:** Os autores, 2021.

Em relação à armadura, a NBR 6122 (ABNT, 2019) ressalta que a junção do fuste e base devem permitir a concretagem de toda estrutura sem interferir em nenhum dos processos construtivos. Nos casos de solicitação de cargas de compressão, verificações de armadura mínima, coeficientes de resistência e ações características, ver os parâmetros que estão inseridos no Anexo A.1.

### 2.4.1 Dimensionamento geométrico

Para obtenção de alguns parâmetros do solo, consultou-se na NBR 6484 (ABNT, 2020) a classificação do solo em detrimento do índice de resistência do mesmo, conforme a Tabela 2.1:

**Tabela 2.1** – Classificação do solo em função do índice de resistência.

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação <sup>1)</sup>
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	> 40	Muito compacta (o)
Areias e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	> 19	Dura (o)

<sup>1)</sup> As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.

**Fonte:** NBR 6484, 2020.

Com o valor de  $N_{SPT-média}$ , faz-se adoção do peso específico, sendo que para solos argilosos e solos arenosos os valores se diferem. Na obra de Teixeira e Godoy (2019), estão de acordo com a consistência e compactidade conforme Tabela 2.2 e Tabela 2.3 abaixo:

**Tabela 2.2** – Peso específico de solos argilosos.

$N_{SPT}$	Consistência	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )
≤ 2	Muito mole	13
3 – 5	Mole	15
6 – 10	Média	17
11 – 19	Rija	19
≥ 20	Dura	21

**Fonte:** TEIXEIRA; GODOY, 2019.

**Tabela 2.3** – Peso específico de solos arenosos.

$N_{spt}$	Compacidade	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )		
		Areia seca	Úmida	Saturada
< 5	Fofa			
5 – 8	Pouco compacta	16	18	19
9 – 18	Medianamente compacta	17	19	20
19 – 40	Compacta			
> 40	Muito compacta	18	20	21

**Fonte:** TEIXEIRA; GODOY, 2019.

Na sequência, a partir desses parâmetros, encontra-se a coesão do solo e o ângulo de atrito, acordante com Teixeira e Godoy (2019). Para coesão, calcular através da Equação 2.1:

$$C = 10 \cdot N_{SPT} \quad (2.1)$$

Onde:

$C$  = Coesão da camada de apoio do solo (kPa);

$N_{SPT}$  = Índice de resistência à penetração.

Para o cálculo do ângulo de atrito utilizar Equação 2.2 ou Equação 2.3:

$$\varphi = 28^\circ + 0,4 \cdot N_{SPT} \quad (2.2)$$

Onde:

$\varphi$  = Ângulo de atrito;

$N_{SPT}$  = Índice de resistência à penetração.

$$\varphi = \sqrt{20 \cdot N_{SPT}} + 15^\circ \quad (2.3)$$

Onde:

$\varphi$  = Ângulo de atrito;

$N_{SPT}$  = Índice de resistência à penetração.

Feito isto, o próximo passo é determinar a tensão admissível. Para o dimensionamento desta força faz-se necessário o conhecimento dos fatores de forma e dos coeficientes de capacidade de carga, utilizando-se o método de Terzaghi (1943).

Marinho (2019), definiu de maneira simples o método de Terzaghi (1943), como aquele em que o solo será submetido à uma carga (da fundação) e o mesmo resistirá ao cisalhamento ao longo da superfície de ruptura.

Na Tabela 2.4 tem-se os seguintes fatores de forma, sendo que a partir do tipo de fundação selecionam-se os coeficientes a serem utilizados:

**Tabela 2.4** – Fatores de forma de Terzaghi (1943).

<b>Fundação</b>	<b>S<sub>C</sub></b>	<b>S<sub>Q</sub></b>	<b>S<sub>γ</sub></b>
Corrida (B, L)	1,0	1,0	1,0
Retangular	1,3	1,0	0,8
Circular (B = diâmetro)	1,3	1,0	0,6

**Fonte:** PINTO, 2006.

Portanto, Terzaghi (1943), definiu os coeficientes de carga para dois tipos de rupturas, sendo essas ruptura geral ou ruptura local. Essa análise deve ser feita com base nos dados apresentados no Anexo A.2 e Anexo A.3.

Assim, para definir qual tipo de ruptura e quais parâmetros utilizar deve-se observar cada camada do solo. Com esses dados em mãos, calcula-se a tensão de ruptura através da fórmula de Terzaghi (1943), que está visível na Equação 2.4:

$$\sigma_{rup} = C \cdot S_C \cdot N_C + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma + q_1 \cdot N'_{q1} \cdot S_{q1} + q_2 \cdot N_{q2} \cdot S_{q2} \quad (2.4)$$

Onde:

$\sigma_{rup}$  = Tensão de ruptura (kPa);

$C$  = Coesão (kPa);

$S_C$  = Fator de forma;

$N_C$  = Coeficiente de capacidade de carga (ruptura geral);

$\gamma$  = Peso específico da camada de apoio (kN/m<sup>3</sup>);

$B$  = Dimensão da base (m);

$N_\gamma$  = Coeficiente de capacidade de carga (ruptura geral);

$S_\gamma$  = Fator de forma;

- $q_1$  = Carga da segunda camada do solo;  
 $N'_{q1}$  = Coeficiente de capacidade de carga (ruptura local);  
 $S_{q1}$  = Fator de forma da primeira camada do solo;  
 $q_2$  = Carga da camada de apoio;  
 $N_{q2}$  = Coeficiente de capacidade de carga (ruptura geral);  
 $S_{q2}$  = Fator de forma da camada de apoio.

Como o motivo principal desse estudo consistiu em desenvolver uma comparação, foi utilizado o mesmo valor de tensão admissível encontrado tanto para o cálculo do tubulão de base alargada como para o tubulão sem base alargada. Hachich *et al.* (2016), recomenda utilizar o fator de segurança de 3,0. Assim, conforme Equação 2.5:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{rup}}{F_S} \quad (2.5)$$

Onde:

- $\sigma_{adm}$  = Tensão admissível (kPa);  
 $\sigma_{rup}$  = Tensão de ruptura (kPa);  
 $F_S$  = Fator de segurança.

Com essa força pré-determinada é possível seguir para o dimensionamento do tubulão em si, onde obtêm-se a área do fuste adotada por Hachich *et al.* (2016), como pode ser visto na Equação 2.6:

$$\gamma_f \cdot P = \frac{0,85 \cdot Af \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2.6)$$

Onde:

- $Af$  = Área do fuste (m<sup>2</sup>);  
 $P$  = Carga atuante (kN);  
 $f_{ck}$  = Resistência característica do concreto à compressão (MPa).

O valor de  $\gamma_c$  foi adotado como 1,4 por estar previsto no item 6.2.1.2.1 da NBR 6122 (ABNT, 2019) p.18, que foi utilizado como fator ponderador para chegar na força resistente de cálculo, sendo esta grandeza fundamental no dimensionamento de tubulões.

Esta Norma determina ainda que o diâmetro do fuste não seja menor que 0,70 m, portanto se houver necessidade, esse valor deve ser ajustado para o mínimo exigido. A seguir deve ser calculado a área da base, levando em consideração que a mesma pode ter formato circular ou falsa elipse.

Hachich *et al.* (2016), falam que a partir do conhecimento da carga atuante e da tensão admissível do solo calcula-se a base do tubulão, desconsiderando-se seu peso próprio e os atritos laterais, como vê-se na Equação 2.7:

$$Ab = \frac{P}{\sigma_{adm}} \quad (2.7)$$

Onde:

$Ab$  = Área da base (m<sup>2</sup>);

$P$  = Carga atuante (kN);

$\sigma_{adm}$  = Tensão admissível solo (kPa).

No caso de ser uma seção circular, considerar a Equação 2.8:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot \sigma}} \quad (2.8)$$

Onde:

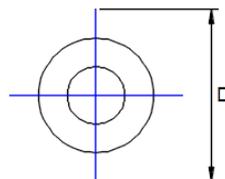
$D$  = Diâmetro da base (m);

$P$  = Carga atuante (kN);

$\sigma$  = Tensão admissível solo (kPa).

Onde o diâmetro  $D$  está ilustrado na Figura 2.6:

**Figura 2.6** – Diâmetro de base no formato circular.



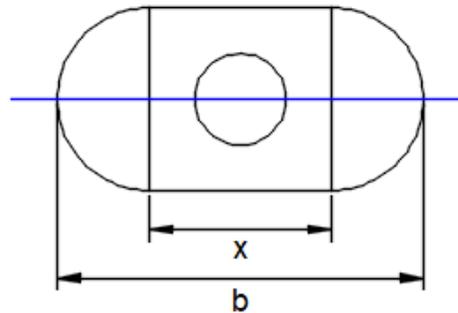
Fonte: Os autores, 2020.

No caso de ser uma seção de falsa elipse, utiliza-se a Equação 2.9:

$$\frac{P}{\sigma} = \frac{\pi \cdot b^2}{4} + b \cdot x \quad (2.9)$$

Onde as medidas  $b$  e  $x$  podem ser exemplificadas conforme a Figura 2.7:

**Figura 2.7** – Diâmetro de base no formato de falsa elipse.



Fonte: Os autores, 2020.

Portanto, para que o tubulão tenha base alargada deve-se utilizar a relação apresentada na Equação 2.10:

$$D \geq 3 \cdot d \quad (2.10)$$

Onde:

$D$  = Diâmetro da base (m);

$d$  = Diâmetro do fuste (m).

Assim, para encontrar a altura da base do tubulão foi utilizada a Equação 2.11, aplicando-se  $60^\circ$  para o ângulo de inclinação que é exigido na NBR 6122 (ABNT, 2019):

$$H = \frac{(D - d)}{2} \cdot \text{tg } \alpha \quad (2.11)$$

Onde:

$H$  = Altura da base do tubulão (m);

$D$  = Diâmetro da base (m);

$d$  = Diâmetro do fuste (m);

$\text{tg}$  = Tangente;

$\alpha$  = Ângulo de inclinação.

Ressalta-se que cada ocasião requer um tipo de tubulão que melhor se adequa ao tipo de edificação, ao terreno e a particularidade desejada. Todo o dimensionamento deve estar em concordância com o que é pedido na NBR 6122 (ABNT, 2019).

### 2.4.2 Dimensionamento estrutural

Para início do dimensionamento estrutural, de acordo com Hachich *et al.* (2016), a primeira relação a ser estabelecida está representada na Equação 2.12:

$$\frac{H}{2} \leq CA \leq 2 \cdot H \quad (2.12)$$

Onde:

$H$  = Altura da base do tubulão (cm);

$CA$  = Dimensão do tubulão (cm).

Em seguida, faz-se a verificação da altura útil através da Equação 2.13:

$$d' \leq 1,5 \cdot CA \quad (2.13)$$

Onde:

$d'$  = Altura útil (cm);

$CA$  = Dimensão do tubulão (cm).

Ao seguir esse raciocínio, encontra-se a pressão solicitante no solo, conforme Hachich *et al.* (2016), e Equação 2.14:

$$P_d = \frac{N_d}{A_{ef}} \quad (2.14)$$

Onde:

$P_d$  = Pressão solicitante no solo (MPa);

$N_d$  = Carga majorada (kPa);

$A_{ef}$  = Área efetiva (m<sup>2</sup>).

Com essa força determinada, o próximo passo é calcular o momento fletor solicitante, como mostrado na Equação 2.15:

$$M_d = P_d \cdot \frac{X^2}{2} \cdot A \quad (2.15)$$

Onde:

$M_d$  = Momento fletor solicitante (kN/m);

$P_d$  = Pressão solicitante no solo (MPa);

$X$  = Raio do tubulão (m);  
 $A$  = Área (m<sup>2</sup>).

Feito isto, dimensiona-se a armadura de flexão e também a armadura distribuída, como determinado por Hachich *et al.* (2016), sendo apresentado na Equação 2.16 e Equação 2.17, respectivamente:

$$AS_M = \frac{M_d}{0,85 \cdot d' \cdot f_{yd}} \quad (2.16)$$

Onde:

$AS_M$  = Área de aço (cm<sup>2</sup>);  
 $M_d$  = Momento fletor solicitante (kN/m);  
 $d'$  = Altura útil (cm);  
 $f_{yd}$  = Tensão de escoamento do aço (MPa).

Para armadura distribuída:

$$As\ m = \frac{AS_M}{C} \quad (2.17)$$

Onde:

$AS_M$  = Área de aço (cm<sup>2</sup>);  
 $C$  = Comprimento da seção transversal do fuste (m).

Por fim, Hachich *et al.* (2016), comenta sobre a verificação do espaçamento e especificação da armadura que deve seguir os valores pré-definidos do Anexo A.4, para então descobrir a quantidade de barras necessárias, como exposto na Equação 2.18:

$$N = \frac{d - 2 \cdot \phi_L}{S} + 1 \quad (2.18)$$

Onde:

$N$  = Quantidade de barras;  
 $d$  = Diâmetro do fuste (cm);  
 $\phi_L$  = Diâmetro longitudinal (cm);  
 $S$  = Espaçamento (cm).

### 3 METODOLOGIA

A princípio definiu-se o que vem a ser uma fundação profunda, pautado nas prerrogativas da NBR 6122 (ABNT, 2019), e na sequência buscou-se informações acerca do tubulão como, por exemplo, quais são suas variações, dimensões mínimas e máximas, tipos de edificações que fazem uso dessa estrutura, dentre outras características já apresentadas.

Fez-se imprescindível também ater-se às questões de análise de solo, o método construtivo empregado nesse elemento estrutural, as vantagens e os cuidados que devem existir ao optar por esse tipo de fundação.

Em um segundo momento, tendo posse dos dados do projeto analisado, fez-se a verificação do relatório de sondagem que encontra-se no Anexo B, extraindo-se as informações a serem utilizadas para dimensionamentos e comparações. O laudo SPT fornecido corresponde a um ensaio feito no terreno de uma empresa na cidade de Goianésia-GO, na qual preferiu não identificar-se com intuito de resguardar sua imagem.

Neste relatório em questão, foram apresentados 29 furos de sondagem, resultantes de um total de 283,40 m perfurados. Com o ensaio de Penetração Dinâmica, desferiu-se em queda livre golpes a partir de uma altura de 75 cm, considerando uma penetração a cada metro no solo. A edificação consiste em um armazém de açúcar e maquinário de grande porte, onde nos arquivos observados têm-se sua paginação e detalhes de piso, locação das estacas, formas da fundação, detalhamento dos blocos e suas armações.

Para aplicação neste trabalho foi selecionado o Furo 07 da sondagem (ver Anexo B.7) para obtenção dos parâmetros do solo e uma tensão de 20 tf, que convertida equivale a aproximadamente 200 kN para uso no dimensionamento geométrico e estrutural (ver Apêndice A, Seção A.1.25).

Assim, calculou-se o índice de resistência à penetração ( $N_{SPT-média}$ ) para então classificar o solo e obter seu peso específico, de acordo com as exigências da Tabela 2.1, Tabela 2.2 e Tabela 2.3 apresentadas no Capítulo 2, chegando-se na seguinte situação exposta na Tabela 3.1 abaixo:

**Tabela 3.1** – Parâmetros do solo.

$N_{SPT}$ (média)	Classificação do solo	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )
4,25	Argila mole	15
33,1	Silte arenoso duro	21

Fonte: Os autores, 2021.

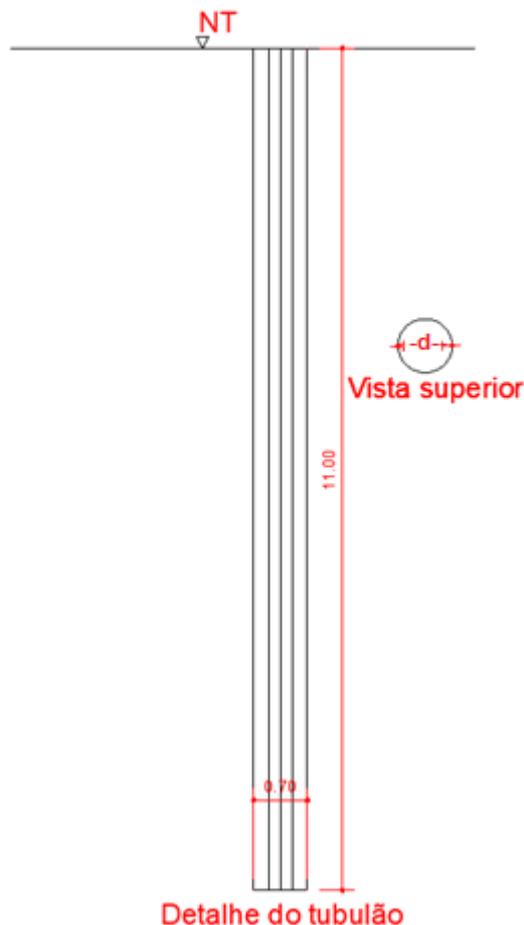
Para ver detalhes dos valores de  $N_{SPT-m\acute{e}dia}$  mostrados acima, consultar Apêndice A, Seção A.1.1 até A.1.4. Dessa forma, iniciou-se de fato o dimensionamento geométrico para calcular um tubulão sem base alargada e um tubulão com base alargada.

Na sequência, foi encontrada uma coesão do solo de 331 kPa (A.1.5) e o ângulo de atrito que foi zero (A.1.6), já que as camadas do solo são argilas. A partir do método de Terzaghi (1943), definiu-se os fatores de forma decorrente do tipo de fundação, conforme Tabela 2.4 (A.1.7) e os coeficientes de carga para ruptura geral (A.1.9) e ruptura local (A.1.8), prescritos no Anexo A.2 e Anexo A.3.

Assim, encontrou-se uma tensão de ruptura de 2662,26 kPa (A.1.10) e conseqüentemente uma tensão admissível de 887 kPa (A.1.11). Calculou-se então a área do fuste para verificação do seu diâmetro, que foi de 0,70 m (A.1.12) e também a área da base, 0,23 m<sup>2</sup> (A.1.13).

Portanto, a fundação terá projeção circular (A.1.14) e abaixo conforme a Figura 3.1, observa-se a configuração do tubulão dimensionado sem a base alargada:

**Figura 3.1** - Tubulão dimensionado sem base alargada.

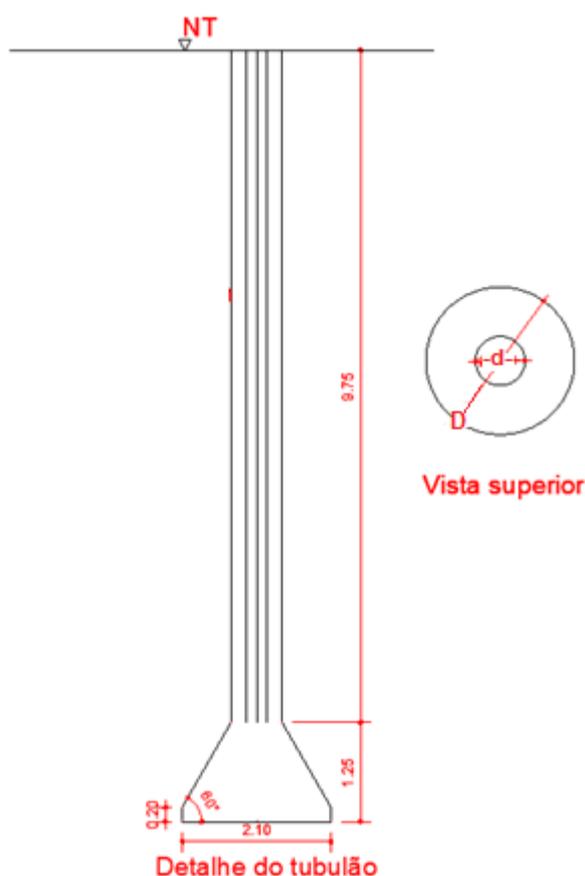


Fonte: Os autores, 2021.

Após alargar sua base, definiu-se um diâmetro de 2,10 m (A.1.15). A altura da base do tubulão foi de 1,25 m (A.1.16), com ângulo de inclinação de  $60^\circ$  para tubulões a céu aberto, conforme NBR 6122 (ABNT, 2019), sendo este o último passo dos cálculos geométricos.

Conforme a Figura 3.2, vê-se a configuração do tubulão dimensionado com a base alargada:

**Figura 3.2** - Tubulão dimensionado com base alargada.



**Fonte:** Os autores, 2021.

Já no dimensionamento estrutural, iniciou-se com verificações de Hachich *et al.* (2016), (A.1.17) do diâmetro (A.1.18), sendo satisfatórios os valores encontrados. Obteve-se a pressão solicitante no solo de 0,74 MPa (A.1.19) e momento fletor solicitante de 571 kN/m (A.1.20).

No cálculo da armadura de flexão atingiu-se uma área de  $125,6 \text{ cm}^2$  (A.1.21) e  $57,1 \text{ cm}^2/\text{m}$  de armadura distribuída (A.1.22). Por fim, fez-se verificação do espaçamento e especificação da armadura (A.1.23), descobrindo uma necessidade de 6 barras para esse dimensionamento (A.1.24).

Com o findar dessa etapa analítica, seguiu-se para o desenvolvimento da parte numérica, que consistiu na interpretação do projeto de fundações. No Apêndice A, Seção A.1.25, têm-se o detalhamento estrutural do tubulão dimensionado através de um *software* utilizado na área da engenharia.

De acordo com os dados do programa, o tubulão sem base alargada está em uma profundidade de 11 m, possui um diâmetro de 30 cm, suporta uma carga de 200 kN e sua armadura é composta por 5 barras de 12,5 mm de diâmetro e 1 barra de 6,3 mm de diâmetro.

Para estabelecer as comparações, os resultados foram separados em Caso 1 e Caso 2 que será apresentado no Capítulo 4. No Caso 1, foram comparados o tubulão sem base alargada com o tubulão de base alargada, desenvolvidos de forma analítica. No Caso 2, a partir do método numérico, foram comparados o tubulão sem base alargada dimensionado através do *software* com o tubulão de base alargada do caso anterior.

Os fatores comparados foram a carga suportada, o diâmetro do fuste e diâmetro da base, a armadura (quantidade de barras e especificações), referentes ao dimensionamento geométrico e estrutural paralelamente.

Os resultados obtidos foram segmentados em tabelas, para permitir a fácil compreensão e diferenciação das estruturas em questão, apresentando-se as porcentagens encontradas e comprovação do alcance dos objetivos estabelecidos no início do trabalho.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como mencionado no capítulo anterior, têm-se dois casos para exposição dos resultados, onde no Caso 1, foram comparados o tubulão sem base alargada com o tubulão de base alargada, analiticamente. No Caso 2, numericamente, foram comparados o tubulão sem base alargada dimensionado através do *software* com o tubulão de base alargada do Caso 1.

Ao iniciar pelo Caso 1, a partir dos parâmetros do solo, tensão admissível e tensão de ruptura, estabeleceu-se a primeira comparação referente a carga suportada, apresentado na Tabela 4.1 abaixo:

**Tabela 4.1** – Caso 1: comparação da carga suportada.

<b>Tipo</b>	<b>Carga suportada (kN)</b>
Tubulão com base alargada	3072
Tubulão sem base alargada	200

Fonte: Os autores, 2021.

A partir do dimensionamento da área da base, fez-se uma comparação referente ao diâmetro do fuste e diâmetro da base, onde o diâmetro da base do tubulão sem base alargada é 67 % menor do que o tubulão de base alargada, apresentado na Tabela 4.2 abaixo:

**Tabela 4.2** – Caso 1: comparação do diâmetro.

<b>Tipo</b>	<b>Diâmetro do fuste (cm)</b>	<b>Diâmetro da base (cm)</b>
Tubulão com base alargada	70	210
Tubulão sem base alargada	70	70

Fonte: Os autores, 2021.

Para armadura mínima exigida, através do dimensionamento estrutural com verificação da altura útil, pressão solicitante do solo, momento fletor e especificação da armadura fez-se o comparativo mostrado na Tabela 4.3 abaixo:

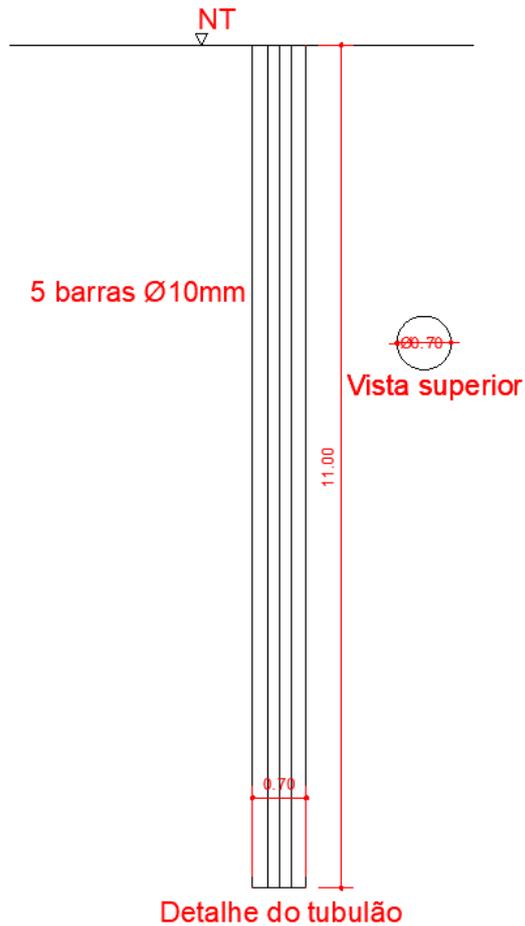
**Tabela 4.3** – Caso 1: comparação da armadura.

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade de barras</b>	<b>Ø (mm)</b>
Tubulão com base alargada	8	25
Tubulão sem base alargada	5	10

Fonte: Os autores, 2021.

Para melhor entendimento, na Figura 4.1 abaixo está representado a configuração do tubulão sem base alargada:

**Figura 4.1** – Configuração do tubulão sem base alargada.



Fonte: Os autores, 2021.

Já no Caso 2, quando feita a comparação referente a carga suportada, obteve-se os seguintes dados que estão na Tabela 4.4 abaixo:

**Tabela 4.4** – Caso 2: comparação da carga suportada.

Tipo	Carga suportada (kN)
Tubulão com base alargada	3072
Tubulão sem base alargada	200

Fonte: Os autores, 2021.

Quanto ao diâmetro do fuste e diâmetro da base, o diâmetro da base do tubulão sem base alargada é 86 % menor do que o tubulão de base alargada, onde encontrou-se as seguintes dimensões da Tabela 4.5:

**Tabela 4.5** – Caso 2: comparação do diâmetro.

<b>Tipo</b>	<b>Diâmetro do fuste (cm)</b>	<b>Diâmetro da base (cm)</b>
Tubulão com base alargada	70	210
Tubulão sem base alargada	30	30

**Fonte:** Os autores, 2021.

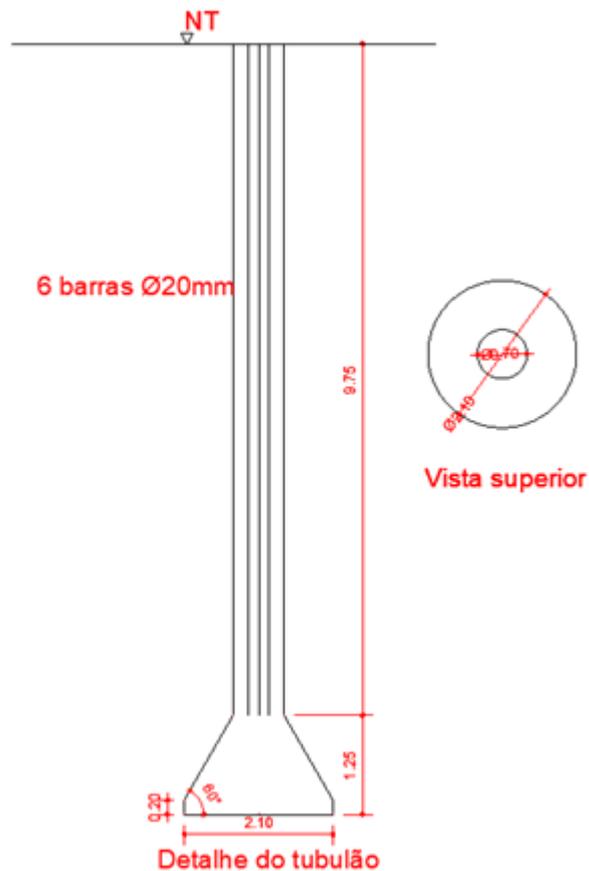
Sobre espaçamento, armadura de flexão e armadura distribuída para o Caso 2 fez-se o comparativo mostrado na Tabela 4.6 abaixo:

**Tabela 4.6** – Caso 2: comparação da armadura.

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade de barras</b>	<b>Ø (mm)</b>
Tubulão com base alargada	8	25
Tubulão sem base alargada	5	12,5
	1	6,3

**Fonte:** Os autores, 2021.

Para visualizar a configuração do tubulão com base alargada ver a Figura 4.2 abaixo:

**Figura 4.2** – Configuração do tubulão com base alargada.

**Fonte:** Os autores, 2021.

Contudo, como o principal objetivo deste trabalho foi desenvolver uma análise comparativa de uma fundação do tipo tubulão com base alargada com um tubulão sem a base alargada, de maneira analítica e numérica, e pontuar ainda as principais diferenças encontradas, fez-se a seguinte relação mostrada na Equação 4.1:

$$A_{base} = \frac{P}{\sigma_{adm}} \quad (4.1)$$

$$\frac{\pi \cdot 2,10^2}{4} = \frac{P}{887 \cdot 10^3}$$

$$P = 3072 \text{ kN}$$

Onde:

$A_{base}$  = Área da base (m<sup>2</sup>);

$P$  = Carga atuante (kN);

$\sigma_{adm}$  = Tensão admissível (kPa).

De maneira simplificada, foi obtido como resultado final o que mostra a Tabela 4.7:

**Tabela 4.7** – Porcentagem de carga suportada.

<b>Tipo</b>	<b>% de carga suportada (kN)</b>
Tubulão com base alargada	Aproximadamente 1500 % a mais de resistência
Tubulão sem base alargada	Resiste 6,5 % da carga suportada da base alargada

**Fonte:** Os autores, 2021.

Dessa forma, infere-se que o tubulão com base alargada suporta uma carga quase 15 vezes maior que o tubulão sem alargamento, ressaltando-se que foi utilizado o mesmo valor de tensão admissível para ambas as situações para tornar-se possível a comparação.

## 5 CONCLUSÕES

Toda fundamentação teórica apresentada no decorrer do trabalho teve intenção de trazer aos leitores conhecimento acerca das fundações, em especial das fundações profundas, enaltecendo a importância do dimensionamento correto na garantia de uma estrutura com o mínimo de patologias possíveis.

Buscou-se entender a princípio a conceituação e tipos de fundações, os fatores condicionantes à escolha do tipo de fundação, algumas características e métodos construtivos do tubulão e suas classificações, vantagens e o dimensionamento para comparação.

Os objetivos estabelecidos foram atingidos, sendo mostrado através dos cálculos os resultados obtidos, destacando-se a aplicabilidade desse tema e também uma alternativa para edificações que se situarão em regiões onde as primeiras camadas do solo possuem baixa resistência.

No estudo em questão, paralelamente, o tubulão com base alargada suporta uma carga quase 15 vezes maior que o tubulão sem alargamento, ressaltando-se que foi utilizado o mesmo valor de tensão admissível para que obtivesse uma análise equivalente.

No Caso 1, inicialmente, para o dimensionamento de um tubulão sem base alargada com diâmetro aceitável foi necessário adotar esse valor para o mínimo exigido pela NBR 6122 (ABNT, 2019). Com essa estrutura calculada fez-se a modificação para base alargada, chegando a um diâmetro 3 vezes maior que o inicial.

Com o aumento dessa área, conseqüentemente, elevou-se a necessidade de uma armadura mais resistente, aumentando-se a quantidade de barras e o diâmetro das mesmas. Além disso, a tensão suportada também foi maximizada, devido a estrutura conseguir absorver maiores cargas.

Para o Caso 2, por já existir uma estrutura projetada por um *software* de engenharia fez-se um análise de seus dados com o tubulão de base alargada encontrado no caso apresentado anteriormente. O tubulão sem base alargada resistiu apenas 6,5% do que o tubulão de base alargada.

Assim, dentre as opções apresentadas, o tubulão de base alargada foi apontado como melhor solução por oferecer maior estabilidade e suportar maiores cargas, além de que conforme as verificações feitas e preceitos adotados em concordância com as normativas, todas as convenções foram atendidas.

Contudo, as fundações são indispensáveis na construção civil, visto que garantem segurança e estabilidade total de toda a estrutura e quando dimensionadas de forma correta

permitem a elaboração de projetos mais ousados, sendo imprescindível ainda o acompanhamento de sua execução.

Ainda há certa carência de estudos mais aprofundados e elaborados nessa temática, acredita-se que por falta de profissionais na área. Portanto, para os trabalhos futuros recomenda-se:

- Fazer a própria amostragem do solo e os ensaios competentes, para melhor acompanhamento dos dados;
- Encontrar a tensão admissível através de um método diferente de Terzaghi (1943);
- Verificar se não há necessidade de contenção lateral na estrutura;
- Conseguir encontrar um tubulão sem base alargada que supere um tubulão com base alargada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, p. 9. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Solo- Sondagem de simples reconhecimento com SPT- Método de ensaio. Rio de Janeiro, p. 17. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro, p. 1. 1983.

AVILA, M. A. Tubulão a céu aberto- O que é? Como é feito?. TC- Total Construção, 2020. Disponível em: <https://www.totalconstrucao.com.br/tubulao-a-ceu-aberto/>. Acesso: 15 de outubro de 2020.

COUTINHO, S. Tubulões começam a ser escavados no Mineirão. Dom Total, 2011. Disponível em: <https://domtotal.com/noticia/306527/2011/03/tubulaes-comeam-a-ser-escavados-no-mineirao/>. Acesso: 04 de outubro de 2020.

CUNHA, L. D. N. Análise comparativa de fundação tipo sapata e tubulão em um mesmo perfil geotécnico na cidade de Teresina. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. O futuro sustentável do Brasil passa por Minas. 2., 2016, Belo Horizonte – MG. Belo Horizonte: ABMS, 2016. p. 2-6.

HACHICH, W. et al. Fundações Teoria e Prática. 2ª ed. São Paulo: Editora Pini, 2016. 760 p.

MARINHO, F. Fundações profundas: tubulões, v. 1, n. 1, jun. 2020. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/fundacoes-profundas-tubuloes/>>. Acesso em: 15 out. 2020.

MARINHO, F. Cálculo da tensão admissível do solo, mai. 2019. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/tensao-admissivel-metodos->



SILVA, A. V. P., GONÇALVES, B. H. S. Análise semiempírica e computacional de fundações. 2018. 126 p. Tese (Bacharelado em Engenharia Civil)- Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2018.

SOUZA, L. H. F., GARCIA, L. P. Redimensionamento de fundação profunda após análise da carga admissível obtida em ensaio de carregamento dinâmico (PDA). Revista de Engenharia e Tecnologia. v.6 nº 2, p. 2-3, 2014.

TEIXEIRA, A. H., GODOY, N. S. Análise, projeto e execução de fundações rasas. Fundações: teorica e prática. 2ª ed. São Paulo: Editora Pini, 2019. 762p.

TROJAHN, A. O. Análise e dimensionamento de tubulões em concreto armado. 2017. 67 p. Tese (Bacharelado em Engenharia Civil)- Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2017.

## APÊNDICE A

### A.1

#### A.1.1 TABELA 2.1 - CLASSIFICAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE RESISTÊNCIA

$$N_{SPT-média}: \\ \frac{8 + 2 + 2 + 5}{4} = 4,25$$

**Argila arenosa mole**

#### A.1.2 TABELA 2.2 – PESO ESPECÍFICO DE SOLOS ARGILOSOS

$$\gamma_n = 15 \text{ kN/m}^3$$

#### A.1.3 TABELA 2.1 - CLASSIFICAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE RESISTÊNCIA

$$N_{SPT-média}: \\ \frac{28 + 19 + 28 + 51 + 46 + 30 + 30}{7} = 33,1$$

**Silte arenoso duro**

#### A.1.4 TABELA 2.2 – PESO ESPECÍFICO DE SOLOS ARGILOSOS

$$\gamma_n = 21 \text{ kN/m}^3$$

#### A.1.5 EQUAÇÃO 2.1 – COESÃO DA CAMADA DE APOIO DO SOLO

$$C = 10 \cdot N_{SPT}$$

$$C = 10 \cdot 33,1$$

$$C = 331 \text{ kPa}$$

#### A.1.6 EQUAÇÃO 2.2 – ÂNGULO DE ATRITO

$$\varphi = 28^\circ + 0,4 \cdot N_{SPT}$$

$$\varphi = 0$$

**Como as camadas do solo analisadas são de argila, logo o ângulo de atrito é igual a zero.**

#### A.1.7 TABELA 2.4 – FATORES DE FORMA DE TERZAGHI (1943)

A fundação terá formato circular, então:

$$S_c = 1,3;$$

$$S_q = 1,0;$$

$$S_\gamma = 0,6.$$

#### A.1.8 ANEXO A.3 – COEFICIENTES DE CAPACIDADE DE CARGA – RUPTURA LOCAL

Devido o solo apresentar como camada inicial argila mole, utilizaremos a tabela de ruptura local de Terzaghi (1943) para obter o resultado dos coeficientes de capacidade de carga.

Temos então que:

1° camada de solo: argila mole ( $\varphi = 0$ )

$$N'c = 5,7;$$

$$N'q = 1,0;$$

$$N'\gamma = 0.$$

#### A.1.9 ANEXO A.2 – COEFICIENTES DE CAPACIDADE DE CARGA – RUPTURA GERAL

Na segunda camada do solo, por ser uma argila dura temos ruptura geral. Sendo assim, utiliza-se a tabela de ruptura geral de Terzaghi (1943) para obter os resultados dos coeficientes de capacidade de carga.

2° camada de solo: argila dura ( $\varphi = 0$ )

$$Nc = 5,7;$$

$$Nq = 1,0;$$

$$N\gamma = 0.$$

#### A.1.10 EQUAÇÃO 2.4 – TENSÃO DE RUPTURA (FÓRMULA DE TERZAGHI)

$$\begin{aligned}\sigma_{RUP} &= C \cdot S_c \cdot N_c + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma + q_1 \cdot N'_{q1} \cdot S_{q1} + q_2 \cdot N_{q2} \cdot S_{q2} \\ \sigma_{RUP} &= 331 \cdot 1,3 \cdot 5,7 + 0,5 \cdot 21 \cdot 0,4 \cdot 0 \cdot 0,6 + 4,45 \cdot 15 \cdot 1 \cdot 1 + 6,8 \cdot 21 \cdot 1 \cdot 1 \\ \sigma_{rup} &= 2662,26 \text{ kPa}\end{aligned}$$

#### A.1.11 EQUAÇÃO 2.5 – TENSÃO ADMISSÍVEL

$$\begin{aligned}\sigma_{adm} &= \frac{\sigma_{rup}}{F_s} \\ \sigma_{adm} &= \frac{2662,26}{3}\end{aligned}$$

$$\sigma_{adm} = 887 \text{ kPa}$$

#### A.1.12 EQUAÇÃO 2.6 – ÁREA DO FUSTE

$$\gamma_f \cdot P = \frac{0,85 \cdot A_f \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$1,4 \cdot 200 \cdot 10^3 = \frac{0,85 \cdot A_f \cdot 25 \cdot 10^6}{1,4}$$

$$A_f = 0,018 \text{ m}^2$$

$$A_f = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$0,018 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$d = 0,15 \text{ m}$$

Segundo a norma o diâmetro do fuste não pode ser inferior a 70 cm, portanto:

$$d = 0,70 \text{ m}$$

#### A.1.13 EQUAÇÃO 2.7 – ÁREA DA BASE

$$A_b = \frac{P}{\sigma_{adm}}$$

$$A_b = \frac{200 \cdot 10^3}{887 \cdot 10^3}$$

$$A_b = 0,23 \text{ m}^2$$

#### A.1.14 EQUAÇÃO 2.8 – SEÇÃO CIRCULAR

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot \sigma}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 200 \cdot 10^3}{\pi \cdot 887 \cdot 10^3}}$$

$$D = 0,54 \text{ m}$$

#### A.1.15 EQUAÇÃO 2.10 – BASE ALARGADA DO TUBULÃO

Como o tubulão teve diâmetro do fuste igual a 70 cm, é preciso alargar a base para que tenha um tubulão de base alargada. Sendo assim:

$$D \geq 3 \cdot d$$

$$D \geq 3 \cdot 70$$

$$D \geq 210 \text{ cm}$$

$$\mathbf{D = 210 \text{ cm ou } 2,10 \text{ m}}$$

#### A.1.16 EQUAÇÃO 2.11 – ALTURA DA BASE DO TUBULÃO

O ângulo de inclinação é igual a  $60^\circ$  para tubulões a céu aberto, NBR 6122 (ABNT, 2019):

$$H = \frac{(D - d)}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$H = \frac{(2,10 - 0,70)}{2} \cdot \operatorname{tg} 60^\circ$$

$$\mathbf{H = 1,25 \text{ m}}$$

#### A.1.17 EQUAÇÃO 2.12 – DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

$$\frac{H}{2} \leq CA \leq 2 \cdot H$$

$$\frac{125}{2} \leq CA \leq 2 \cdot 125$$

$$62,5 \leq 140 \leq 250$$

**Verificação ok!**

#### A.1.18 EQUAÇÃO 2.13 – VERIFICAÇÃO DA ALTURA ÚTIL

$$d' \leq 1,5 \cdot CA$$

$$125 - 2 - 0,5 \leq 1,5 \cdot 140$$

$$122,5 \leq 210$$

**Verificação ok!**

#### A.1.19 EQUAÇÃO 2.14 – PRESSÃO SOLICITANTE NO SOLO

$$P_d = \frac{N_d}{A_{ef}}$$

$$P_d = \frac{1,4 \cdot 200 \cdot 10^3}{0,38}$$

$$\mathbf{P_d = 0,74 \text{ MPa}}$$

## A.1.20 EQUAÇÃO 2.15 – MOMENTO FLETOR SOLICITANTE

$$M_d = P_d \cdot \frac{X^2}{2} \cdot A$$

$$M_d = 0,74 \cdot 10^6 \cdot \frac{1,05^2}{2} \cdot 1,40$$

$$\mathbf{M_d = 571 \text{ kN/m}}$$

## A.1.21 EQUAÇÃO 2.16 – ARMADURA DE FLEXÃO

$$AS_M = \frac{M_d}{0,85 \cdot d' \cdot f_{yd}}$$

$$AS_M = \frac{571 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 1,23 \cdot \frac{500 \cdot 10^6}{1,15}}$$

$$\mathbf{AS_M = 125,6 \text{ cm}^2}$$

## A.1.22 EQUAÇÃO 2.17 – ARMADURA DISTRIBUÍDA

$$As\backslash m = \frac{AS_M}{C}$$

$$As\backslash m = \frac{125,6}{2,20}$$

$$\mathbf{As\backslash m = 57,1 \text{ cm}^2/m}$$

## A.1.23 ANEXO A.4 – RESISTÊNCIA À FORÇA CORTANTE

Verificação do espaçamento:

$$10 \text{ cm} \leq S \leq 20 \text{ cm}$$

Especificação da armadura:

$$As = 66,7 \text{ cm}^2/m$$

$$As = \emptyset 20 \text{ C}/15$$

## A.1.24 EQUAÇÃO 2.18 – QUANTIDADE DE BARRAS

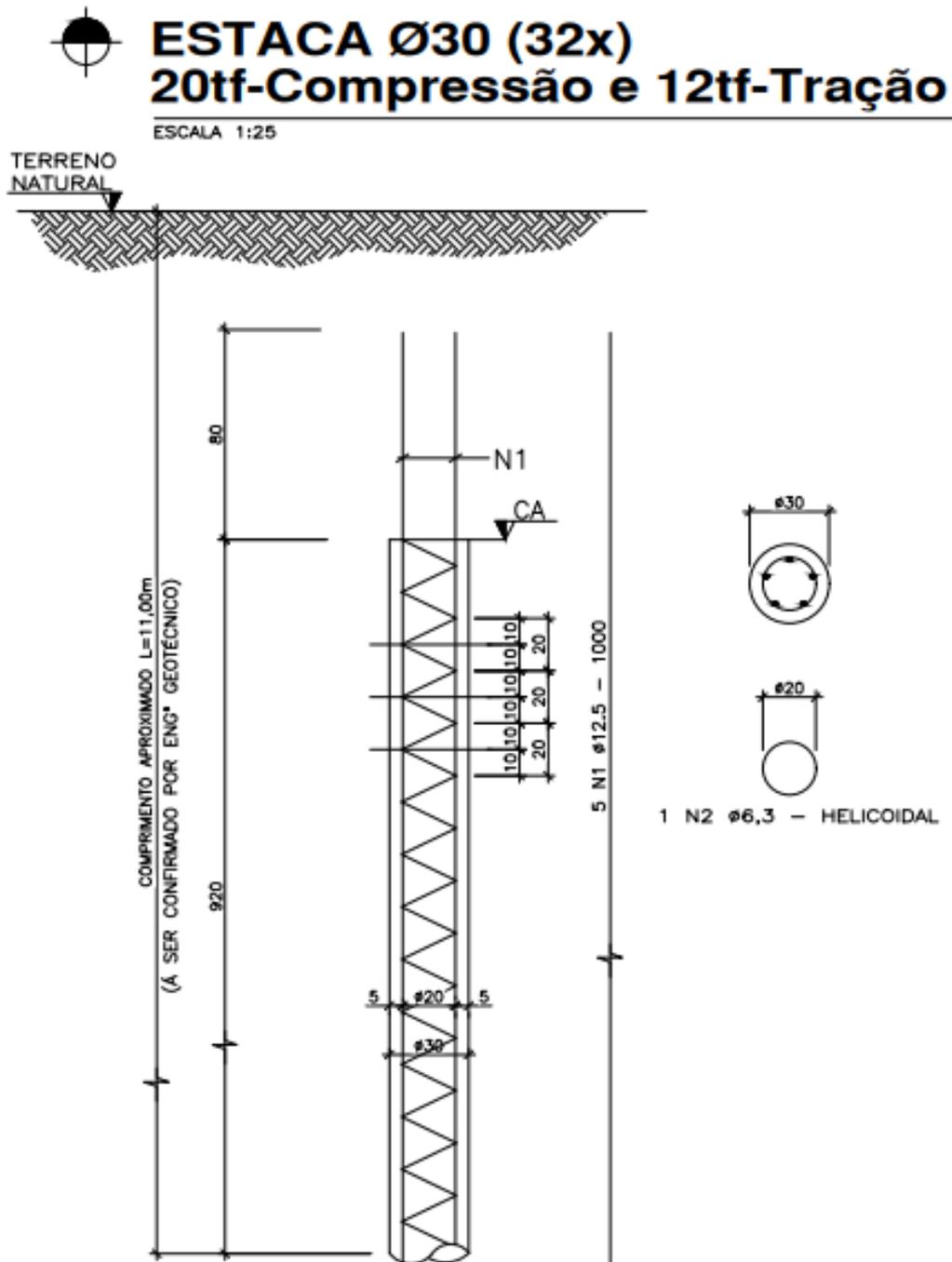
Quantidade de barras:

$$N = \frac{d - 2 \cdot \emptyset_L}{S} + 1$$

$$N = \frac{70 - 2 \cdot 4}{15} + 1$$

$$\mathbf{N = 6 \text{ barras}}$$

A.1.25 ANÁLISE COM MÉTODO NUMÉRICO – DETALHAMENTO ESTRUTURAL FEITO EM *SOFTWARE*



Fonte: Os autores, 2021.

## ANEXO A

Anexo A.1 – Estacas moldadas *in loco* e tubulões: parâmetros para dimensionamento.

Tipo de estaca	Classe de agressividade ambiental (CAA) conforme ABNT NBR 6118	Classe de concreto/resistência característica da argamassa ou concreto	$\gamma_c$	% de armadura mínima e comprimento útil mínimo (incluindo trecho de ligação com o bloco)		Tensão de compressão simples atuante abaixo da qual não é necessário armar (exceto ligação com o bloco) (MPa)	Anexo onde se encontram definidos concreto/argamassa
				Armadura (%)	Comprimento (m)		
Hélice/hélice de deslocamento /hélice com trado segmentado <sup>a</sup>	I, II	C30	2,7	0,4	4,0	6,0	N/O/P
	III, IV	C40	3,6				
Escavadas sem fluído	I, II	C25	3,1	0,4	2,0	5,0	I
	III, IV	C40	5,0				
Escavadas com fluído	I, II	C30	2,7	0,4	4,0	6,0	J
	III, IV	C40	3,6				
Strauss <sup>b</sup>	I, II	20 MPa	2,5	0,4	2,0	5,0	G
Franki <sup>b</sup>	I, II, III, IV	20 MPa	1,8	0,4	Integral	-	H
Tubulões não encamisados	I, II	C25	2,2	0,4	3,0	5,0	B
	III, IV	C40	3,6				
Raiz <sup>b,c,d</sup>	I, II, III, IV	20 MPa	1,6	0,4	Integral	-	K
Microestacas <sup>b,c,e</sup>	I, II, III, IV	20 MPa	1,8	0,4	Integral	-	M
Estaca trado vazado segmentado <sup>a,d</sup>	I, II, III, IV	20 MPa	1,8	0,4	Integral	-	L

Fonte: NBR 6122, 2019.

**Anexo A.2** – Coeficientes de capacidade de carga – Ruptura Geral.

$\Phi'$	$N_C$	$N_Q$	$N_\gamma$	$\Phi'$	$N_C$	$N_Q$	$N_\gamma$
0	5,7	1,00	0,00	26	27,09	14,21	9,84
1	6,0	1,10	0,01	27	29,24	15,90	11,60
2	6,3	1,22	0,04	28	31,61	17,81	13,70
3	6,62	1,35	0,06	29	34,24	19,98	16,18
4	6,97	1,49	0,10	30	37,16	22,46	19,13
5	7,34	1,64	0,14	31	40,41	25,28	22,65
6	7,73	1,81	0,20	32	44,04	28,52	26,87
7	8,15	2,00	0,27	33	48,09	32,23	31,94
8	8,60	2,21	0,35	34	52,64	36,50	38,04
9	9,09	2,44	0,44	35	57,75	41,44	45,41
10	9,61	2,69	0,56	36	63,53	47,16	54,36
11	10,16	2,98	0,69	37	70,01	53,80	65,27
12	10,76	3,29	0,85	38	77,50	61,55	78,61
13	11,41	3,63	1,04	39	85,97	70,61	95,03
14	12,11	4,02	1,26	40	95,66	81,27	115,31
15	12,86	4,45	1,52	41	106,81	93,85	140,51
16	13,68	4,92	1,82	42	119,67	108,75	171,99
17	14,60	5,45	2,18	43	134,58	126,50	211,56
18	15,12	6,04	2,59	44	151,95	147,74	261,60
19	16,56	6,70	3,07	45	172,28	173,28	325,34
20	17,69	7,44	3,64	46	196,22	204,19	407,11
21	18,92	8,26	4,31	47	224,55	241,80	512,84
22	20,27	9,19	5,09	48	258,28	287,85	650,67
23	21,75	10,23	6,00	49	298,71	344,63	831,99
24	23,36	11,40	7,08	50	347,50	415,14	1072,80
25	25,13	12,72	8,34				

Fonte: PINTO, 2006.

**Anexo A.3** – Coeficientes de capacidade de carga – Ruptura Local.

$\phi'$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi'$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5,7	1,0	0,0	26	15,53	6,05	2,59
1	5,9	1,07	0,005	27	16,30	6,54	2,88
2	6,1	1,14	0,02	28	17,13	7,07	3,29
3	6,3	1,22	0,04	29	18,03	7,66	3,76
4	6,51	1,30	0,055	30	18,99	8,31	4,39
5	6,74	1,39	0,074	31	20,03	9,03	4,83
6	6,97	1,49	0,10	32	21,16	9,82	5,51
7	7,22	1,59	0,128	33	22,39	10,69	6,32
8	7,47	1,70	0,16	34	23,72	11,67	7,22
9	7,74	1,82	0,20	35	25,18	12,75	8,35
10	8,02	1,94	0,24	36	26,77	13,97	9,41
11	8,32	2,08	0,30	37	28,51	15,32	10,90
12	8,63	2,22	0,35	38	30,43	16,85	12,75
13	8,96	2,38	0,42	39	32,53	18,56	14,71
14	9,31	2,55	0,48	40	34,87	20,50	17,22
15	9,67	2,73	0,57	41	37,45	22,70	19,75
16	10,06	2,92	0,67	42	40,33	25,21	22,50
17	10,47	3,13	0,76	43	43,54	28,06	26,25
18	10,90	3,36	0,88	44	47,13	31,34	30,40
19	11,36	3,61	1,03	45	51,17	35,11	36,00
20	11,85	3,88	1,12	46	55,73	39,48	41,70
21	12,37	4,17	1,35	47	60,91	44,54	49,30
22	12,92	4,48	1,55	48	66,80	50,46	59,25
23	13,51	4,82	1,74	49	73,55	57,41	71,45
24	14,14	5,20	1,97	50	81,31	65,60	85,75
25	14,80	5,60	2,25				

Fonte: PINTO, 2006.

Anexo A.4 – Resistência à força cortante.

Espaçamento (cm)	Diâmetro $\phi$									
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	32	40
5	8,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	6,67	10,50	16,70	26,70	41,70	-	-	-	-	-
7	5,71	9,00	14,30	22,90	35,70	57,10	90,00	142,90	-	-
8	5,00	7,88	12,50	20,00	31,20	50,00	78,70	125,00	200,00	-
9	4,44	7,00	11,10	17,80	27,80	44,40	70,00	111,10	177,80	277,80
10	4,00	6,30	10,00	16,00	25,00	40,00	63,00	100,00	160,00	250,00
11	3,64	5,73	9,09	14,50	22,70	36,40	57,30	90,90	145,50	227,30
12	3,33	5,25	8,33	13,30	20,80	33,80	51,50	83,30	133,30	208,30
13	3,03	4,85	7,69	12,30	19,20	30,80	48,50	76,90	123,10	192,30
14	2,86	4,50	7,14	11,40	17,90	28,60	45,00	71,40	114,30	178,60
15	2,67	4,20	6,67	10,70	16,70	26,70	42,00	66,70	166,70	166,70
16	2,50	3,84	6,25	10,00	15,60	25,00	39,40	62,50	100,00	156,30
17	2,35	3,71	5,88	9,41	14,70	23,50	37,10	58,80	94,10	147,10
18	2,22	3,50	5,56	8,89	13,90	22,20	35,00	55,60	88,90	138,90
19	2,11	3,32	5,26	8,42	13,20	21,10	33,20	52,60	84,20	131,60
20	2,00	3,15	5,00	8,00	12,50	20,00	31,50	50,00	80,00	125,00
21	1,90	3,00	4,76	7,62	11,90	19,00	30,00	47,60	76,20	119,00
22	1,82	2,85	4,55	7,27	11,40	18,20	28,50	45,40	72,70	113,60
23	1,74	2,74	4,35	6,96	10,90	17,40	27,40	43,50	69,60	108,70
24	1,67	2,60	4,17	6,67	10,40	16,70	26,20	41,70	66,70	104,20
25	1,60	2,52	4,00	6,40	10,00	16,00	25,20	40,00	64,00	100,00
26	1,54	2,42	3,85	6,15	9,52	15,40	24,20	38,50	61,50	96,20
27	1,48	2,33	3,70	5,93	9,26	14,80	23,30	37,00	59,30	92,60
28	1,43	2,25	3,57	5,71	8,93	14,30	22,50	35,70	57,10	89,30
29	1,38	2,17	3,45	5,52	8,62	13,80	21,70	34,50	55,20	86,20
30	1,33	2,10	3,33	5,33	8,33	13,30	21,00	33,30	53,30	83,30
35	-	1,80	2,86	4,57	7,14	11,40	18,00	28,60	45,70	71,40

Fonte: HACHICH ET AL., 2016.

ANEXO B

ANEXO B.1- FURO 01 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 01</b>	
Método	Profun.	N	S.P.T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
			1º+2º	2º+3º		
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes
TH	-1,45	4	6	Idem var(vermelha) c/ pedregulhos de quartzo		
TH	-2,45	6	7	Silte arenoso var(vermelho) c/ pedreg. de qtzo, pco compacto		
CA	-3,45	11	14	Idem var(roxos), medianamente compacto		
CA	-4,45	14	21	Idem var(roxos), compacto		
CA	-5,22	54/22	30/7	Idem var(roxos), muito compacto		
CA	-6,07	30/7	-	Idem var(roxos), muito compacto		
CA	-7,08	30/8	-	Idem var(marrom), muito compacto		
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.2 - FURO 02 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 02</b>			
Método	Profun.	N A	S. P. T.		G R Á F I C O	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS		
			1ª+2ª	2ª+3ª				
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes		
TH	-1,45		4	4		Idem vermelha c/ raízes, consistência mole		
TH	-2,45		5	6		Silte arenoso marrom, pouco compacto		
TH	-3,45		7	7		Idem marrom, pouco compacto		
CA	-4,45		10	15		Idem marrom, medianamente compacto		
CA	-5,45		27	41		Idem marrom, muito compacto		
CA	-6,45		9	21		Idem marrom, compacto		
CA	-7,45		20	32		Idem marrom, compacto		
CA	-8,43		36	51/28		Idem marrom, muito compacto		
CA	-9,30		52	30/15		Idem marrom, muito compacto		
CA	-10,24		55/24	30/9		Idem marrom, muito compacto		
####	#####		####	#####				
####	#####		####	#####				
####	#####		####	#####				
####	#####		####	#####				
####	#####		####	#####				
####	#####		####	#####				
####	#####		####	#####				
####	#####		####	#####				
####	#####		####	#####				
####	#####		####	#####				

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.3 - FURO 03 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 03</b>	
Método	Profun.	N	S. P. T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
			1ª+2ª	2ª+3ª		
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes
TH	-1,45	4	4	Idem vermelha c/ raízes, consistência mole		
TH	-2,45	2	4	Idem vermelha c/ pedregulhos, consistência mole		
TH	-3,45	7	9	Silte arenoso marrom, medianamente compacto		
CA	-4,45	9	10	Idem marrom, medianamente compacto		
CA	-5,45	12	20	Idem marrom, compacto		
CA	-6,43	20	44/28	Idem marrom, muito compacto		
CA	-7,07	30/7	-	Idem marrom, muito compacto		
CA	-8,10	30/10	-	Idem marrom, muito compacto		
####	#####	####	####			
####	#####	####	####			
####	#####	####	####			
####	#####	####	####			
####	#####	####	####			
####	#####	####	####			
####	#####	####	####			
####	#####	####	####			
####	#####	####	####			
####	#####	####	####			
####	#####	####	####			
####	#####	####	####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.4 - FURO 04 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 04</b>	
Método	Profun.	N A	S. P. T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
			1º+2º	2º+3º		
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes
TH	-1,45		2	3		Idem vermelha c/ pedregulhos, consistência mole
TH	-2,45		5	5		Silte arenoso marrom c/ pedregulhos, pouco compacto
CA	-3,45		9	10		Idem marrom, medianamente compacto
CA	-4,45		11	16		Idem marrom, medianamente compacto
CA	-5,45		20	22		Idem marrom, compacto
CA	-6,25		53/25	30/10		Idem marrom, muito compacto
CA	-7,29		52/29	30/14		Idem marrom, muito compacto
CA	-8,23		56/23	30/8		Idem marrom, muito compacto
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.5 - FURO 05 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 05</b>		
Método	Profun.	N	S. P. T.		G R Á F I C O	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1º+2º	2º+3º			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes	
TH	-1,45		5	4		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-2,45		7	8		Silte arenoso var(marrom), pouco compacto	
CA	-3,45		12	26		Idem marrom, compacto	
CA	-4,45		31	43		Idem marrom, muito compacto	
CA	-5,42		32	49/27		Idem marrom, muito compacto	
CA	-6,12		30/12	-		Idem marrom, muito compacto	
CA	-7,08		30/8	-		Idem marrom, muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.6 - FURO 06 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 06</b>		
Método	Profun.	N A	S. P. T.		G R Á F I C O	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa marrom c/ raízes	
TH	-1,45		11	12		Silte arenoso var(marrom), medianamente compacto	
CA	-2,45		5	4		Idem marrom, pouco compacto	
CA	-3,45		4	5		Idem marrom c/ pedregulhos, pouco compacto	
CA	-4,08		30/8	-		Idem marrom, muito compacto	
CA	-5,07		30/7	-		Idem marrom, muito compacto	
CA	-6,05		30/5	-		Idem marrom, muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.7 - FURO 07 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 07</b>		
Método	Profun.	N A	S.P.T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ pedregulhos	
TH	-1,45		6	8		Idem vermelha, consistência média	
TH	-2,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-3,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-4,45		4	5		Idem vermelha c/ pedregulhos, consistência mole	
CA	-5,45		22	28		Silte arenoso var(marrom) c/ pedregulhos, compacto	
CA	-6,45		20	19		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, compacto	
CA	-7,45		22	28		Idem var(marrom), compacto	
CA	-8,45		40	51		Idem var(marrom), muito compacto	
CA	-9,43		31	46/28		Idem var(marrom), muito compacto	
CA	-10,26		53/26	30/11		Idem var(amarelo), muito compacto	
CA	-11,25		52/25	30/10		Idem var(amarelo), muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.8 - FURO 08 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 08</b>		
Método	Profun.	N A	S.P.T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ pedregulhos	
TH	-1,45		5	9		Silte arenoso var(amarelo), medianamente compacto	
TH	-2,45		13	15		Idem var(amarelo), medianamente compacto	
CA	-3,45		15	21		Idem var(marrom), compacto	
CA	-4,45		12	21		Idem var(marrom), compacto	
CA	-5,45		18	30		Idem var(amarelo), compacto	
CA	-6,43		33	53/28		Idem var(amarelo), muito compacto	
CA	-7,30		55	30/15		Idem var(amarelo), muito compacto	
CA	-8,24		51/24	30/9		Idem var(amarelo), muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.9 - FURO 09 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 09</b>		
Método	Profun.	N A	S . P . T.		G R Á F I C O	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha	
TH	-1,45		7	10		Idem vermelha, consistência média	
TH	-2,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-3,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-4,45		10	13		Idem var(vermelha) c/ pedregulhos de qtzo, consistência rija	
CA	-5,45		9	11		Silte arenoso marrom, medianamente compacto	
CA	-6,45		8	12		Idem marrom, medianamente compacto	
CA	-7,45		12	20		Idem marrom, compacto	
CA	-8,45		14	28		Idem marrom, compacto	
CA	-9,15		30/15	-		Idem marrom, muito compacto	
CA	-10,26		43/26	30/11		Idem marrom, muito compacto	
CA	-11,22		56/22	30/7		Idem marrom, muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.10 - FURO 10 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 10</b>	
Método	Profun.	N	S. P. T.		G R Á F I C O	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
			1ª+2º	2º+3º		
TC	-1,00	A	Avanço			Argila arenosa vermelha
TH	-1,45		5	6		Idem vermelha, consistência média
TH	-2,45		5	4		Idem vermelha, consistência mole
TH	-3,45		9	11		Silte arenoso var(marrom), medianamente compacto
CA	-4,45		9	11		Idem var(marrom), medianamente compacto
CA	-5,45		13	21		Idem var(vermelho), compacto
CA	-6,23		57/23	30/8		Idem var(amarelo), muito compacto
CA	-7,10		30/10	-		Idem var(amarelo), muito compacto
CA	-8,24		40/24	30/9		Idem var(amarelo), muito compacto
####	#####		####	#####		
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.11 - FURO 11 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 11</b>		
Método	Profun.	N A	S. P. T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes	
TH	-1,45		3	3		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-2,48		2/33	2/33		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-3,45		3	3		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-4,45		3	3		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-5,45		3	4		Idem vermelha, consistência mole	
CA	-6,45		6	8		Silte arenoso var(marrom), pouco compacto	
CA	-7,45		7	9		Idem var(amarelo), medianamente compacto	
CA	-8,45		25	34		Idem var(vermelho) c/ pedregulhos, compacto	
CA	-9,30		48	30/15		Idem var(marrom), muito compacto	
CA	-10,13		30/13	-		Idem var(marrom), muito compacto	
CA	-11,21		49/21	30/6		Idem var(marrom), muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.12 - FURO 12 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 12</b>		
Método	Profund.	N A	S. P. T.		G R Á F I C O	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha	
TH	-1,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-2,48		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-3,50		2/35	2/33		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-4,45		3	4		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-5,45		5	6		Idem vermelha c/ pedregulhos, consistência média	
CA	-6,45		14	17		Silte arenoso var(amarelo), medianamente compacto	
CA	-7,45		16	22		Idem var(marrom), compacto	
CA	-8,45		22	29		Idem var(marrom), compacto	
CA	-9,44		30	50/29		Idem var(amarelo), muito compacto	
CA	-10,27		44/27	30/12		Idem var(amarelo), muito compacto	
CA	-11,25		48/25	30/10		Idem var(marrom), muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.13 - FURO 13 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 13</b>		
Método	Profun.	N	S. P. T.		G R Á F I C O	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes	
TH	-1,53		2/53	1		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-2,45		5	5		Idem vermelha c/ pedregulhos, consistência mole	
TH	-3,45		5	6		Idem vermelha c/ pedregulhos, consistência média	
CA	-4,45		7	9		Silte arenoso var(marrom) c/ pedreg. de qtzo, med compacto	
CA	-5,45		38	46		Areia fina siltosa var(branca) c/ pedreg. de qtzo, mto compacta	
CA	-6,45		18	25		Silte arenoso var(marrom), compacto	
CA	-7,45		24	32		Idem var(marrom), compacto	
CA	-8,45		26	39		Idem var(amarelo), compacto	
CA	-9,43		30	48/28		Idem var(amarelo), muito compacto	
CA	-10,42		35	51/27		Idem var(amarelo), muito compacto	
CA	-11,40		41	53/25		Idem var(amarelo), muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.14 - FURO 14 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 14</b>		
Método	Profund.,	N	S. P. T.		G R Á F I C O	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha	
TH	-1,45		4	4		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-2,45		2	3		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-3,45		3	5		Idem vermelha, consistência mole	
CA	-4,45		5	8		Areia fina siltosa var(branca), pouco compacta	
CA	-5,45		6	10		Silte arenoso var(marrom) c/ pedregulhos, med compacto	
CA	-6,45		18	25		Idem var(marrom), compacto	
CA	-7,40		34	52/25		Idem var(amarelo), muito compacto	
CA	-8,09		30/9	-		Idem var(marrom), muito compacto	
CA	-9,06		30/6	-		Idem var(marrom), muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.15 - FURO 15 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 15</b>		
Método	Profun.	N A	S.P.T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1.00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes	
TH	-1.45		3	3		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-2.45		3	4		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-3.45		4	4		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-4.45		4	5		Idem vermelha, consistência mole	
CA	-5.45		15	18		Idem var(vermelha) c/ pedregulhos, consistência rija	
CA	-6.45		12	17		Idem var(marrom) c/ silte, consistência rija	
CA	-7.45		30	44		Silte arenoso var(amarelo), muito compacto	
CA	-8.45		28	36		Idem var(amarelo), compacto	
CA	-9.30		46	30/15		Idem var(amarelo), muito compacto	
CA	-10.24		52/24	30/9		Idem var(amarelo), muito compacto	
CA	-11.30		45	30/15		Idem var(amarelo) c/ pedregulhos, muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.16 - FURO 16 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 16</b>		
Método	Profun.	N A	S.P.T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes	
TH	-1,45		2	3		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-2,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-3,45		2/45	1		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-4,45		6	9		Idem vermelha c/ pedregulhos, consistência média	
TH	-5,45		5	3		Idem var(vermelha) c/ pedregulhos, consistência mole	
TH	-6,45		3	3		Silte arenoso var(marrom) c/ pedregulhos, fofo	
CA	-7,45		5	7		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, pouco compacto	
CA	-8,45		15	26		Idem marrom, compacto	
CA	-9,29		45/29	30/14		Idem marrom c/ pedregulhos, muito compacto	
CA	-10,44		35	52/29		Idem marrom, muito compacto	
CA	-11,43		32	50/28		Idem marrom c/ pedregulhos, muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.17 - FURO 17 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 17</b>		
Método	Profun.	N A	S. P. T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1º+2º	2º+3º			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha	
TH	-1,45		3	2		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-2,45		3	3		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-3,45		7	8		Idem vermelha c/ pedregulhos, consistência média	
CA	-4,45		9	8		Idem var(vermelha) c/ pedregulhos, consistência média	
CA	-5,45		5	7		Silte arenoso var(marrom), pouco compacto	
CA	-6,45		8	12		Idem var(marrom), medianamente compacto	
CA	-7,45		18	30		Idem var(marrom), compacto	
CA	-8,42		33	50/27		Idem var(marrom), muito compacto	
CA	-9,40		43	55/25		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, muito compacto	
CA	-10,12		30/12	-		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.18 - FURO 18 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 18</b>		
Método	Profun.	N A	S.P.T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes	
TH	-1,45		2	3		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-2,45		3	3		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-3,45		5	5		Idem var(vermelha) c/ pedregulhos, consistência mole	
TH	-4,45		2	2		Silte arenoso var(marrom) c/ pedregulhos, fofo	
CA	-5,45		5	5		Idem var(marrom), pouco compacto	
CA	-6,45		17	18		Idem var(marrom), medianamente compacto	
CA	-7,45		24	34		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, compacto	
CA	-8,10		30/10	-		Idem var(marrom), muito compacto	
CA	-9,13		30/13	-		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, muito compacto	
CA	-10,08		30/8	-		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.19 - FURO 19 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 19</b>		
Método	Profun.	N A	S. P. T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa marrom	
TH	-1,45		7	8		Idem marrom, consistência média	
TH	-2,45		7	9		Silte arenoso var(marrom) c/ pedregulhos, med compacto	
CA	-3,45		6	7		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, pouco compacto	
CA	-4,45		7	9		Idem var(marrom), medianamente compacto	
CA	-5,45		13	13		Idem var(marrom), medianamente compacto	
CA	-6,45		16	26		Idem var(marrom), compacto	
CA	-7,24		52/24	30/9		Idem var(marrom) c/ pedregulhos de quartzo, mto compacto	
CA	-8,12		30/12	-		Idem var(marrom) c/ pedregulhos de quartzo, mto compacto	
CA	-9,09		30/4	-		Idem var(marrom) c/ pedregulhos de quartzo, mto compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.20 - FURO 20 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 20</b>	
Método	Profun.	N	S.P.T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
			1ª+2ª	2ª+3ª		
TC	-1,00	A	Avanço			Argila arenosa vermelha
TH	-1,45		4	10		Idem vermelha c/ pedregulhos, consistência média
TH	-2,45		8	10		Silte arenoso var(marrom) c/ pedreg. de qtzo, med compacto
CA	-3,45		19	27		Areia fina siltosa var(branca) c/ pedreg. de qtzo, compacto
CA	-4,45		25	27		Silte arenoso var(marrom), compacto
CA	-5,45		15	20		Idem var(amarelo), compacto
CA	-6,45		21	25		Idem var(amarelo), compacto
CA	-7,45		27	45		Idem var(amarelo), muito compacto
CA	-8,45		36	51		Idem var(marrom), muito compacto
CA	-9,15		30/15	-		Idem var(marrom), muito compacto
####	#####		####	#####		
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			
####	#####	####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

## ANEXO B.21 - FURO 21 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 21</b>		
Método	Profund.	N A	S.P.T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha	
TH	-1,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-2,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-3,45		2/45	1		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-4,45		4	4		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-5,45		7	8		Argila arenosa var(marrom) c/ pedreg., consistência média	
TH	-6,45		7	9		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, consistência média	
CA	-7,45		7	7		Silte arenoso var(amarelo) c/ pedregulhos, pco compacto	
CA	-8,45		24	33		Idem var(amarelo) c/ pedregulhos, compacto	
CA	-9,26		51/26	30/11		Idem var(amarelo) c/ pedregulhos, muito compacto	
CA	-10,07		30/7	-		Idem var(amarelo) c/ pedregulhos, muito compacto	
CA	-11,05		30/5	-		Idem var(amarelo) c/ pedregulhos, muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

## ANEXO B.22 - FURO 22 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 22</b>		
Método	Profund.	N A	S.P.T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa marrom	
TH	-1,45		6	5		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-2,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole	
TH	-3,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole	
CA	-4,45		11	14		Pedregulhos c/ argila arenosa vermelha	
CA	-5,45		7	10		Silte arenoso var(marrom), medianamente compacto	
CA	-6,45		18	25		Idem var(marrom), compacto	
CA	-7,45		16	21		Idem var(marrom), compacto	
CA	-8,45		24	35		Idem var(marrom), compacto	
CA	-9,45		22	26		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, compacto	
CA	-10,45		25	34		Idem var(roxos), compacto	
CA	-11,45		30	39		Idem var(amarelo), compacto	
CA	-12,40		43	55/25		Idem var(amarelo), muito compacto	
CA	-13,11		30/11	-		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, muito compacto	
CA	-14,08		30/8	-		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.23 - FURO 23 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 23</b>	
Método	Profun.	N A	S.P.T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
			1ª+2ª	2ª+3ª		
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha
TH	-1,45		9	11		Idem vermelha c/ pedregulhos, consistência rija
TH	-2,45		4	4		Idem vermelha, consistência mole
TH	-3,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole
TH	-4,45		4	3		Idem vermelha, consistência mole
TH	-5,45		6	6		Idem var(vermelha) c/ pedregulhos, consistência média
CA	-6,45		6	7		Silte arenoso var(amarelo) c/ pedregulhos, pco compacto
CA	-7,45		11	13		Idem var(amarelo) c/ pedregulhos, medianamente compacto
CA	-8,45		12	18		Idem var(roxos) c/ pedregulhos, medianamente compacto
CA	-9,48		39	25/33		Areia fina siltosa var(cinza) c/ pedregulhos, compacta
CA	-10,45		30	40		Idem var(amarela) c/ pedregulhos, compacta
CA	-11,23		48/23	30/8		Idem var(amarela) c/ pedregulhos, muito compacta
CA	-12,11		30/11	-		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, muito compacta
CA	-13,09		30/9	-		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, muito compacta
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.24 - FURO 24 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 24</b>		
Método	Profun.	N	S.P.T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes	
TH	-1,45		2	3		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-2,45		4	3		Idem vermelha, consistência mole	
CA	-3,45		8	12		Idem vermelha c/ pedregulhos, consistência rija	
CA	-4,45		8	13		Silte arenoso var(marrom), medianamente compacto	
CA	-5,45		13	18		Pedregulhos de quartzo c/ areia média siltosa var(marrom)	
CA	-6,45		11	17		Silte arenoso var(amarelo) c/ pedregulhos, med compacto	
CA	-7,45		13	14		Idem var(amarelo) c/ pedregulhos, medianamente compacto	
CA	-8,45		16	21		Idem var(amarelo) c/ pedregulhos, compacto	
CA	-9,30		29	51/24		Idem var(amarelo) c/ pedregulhos, muito compacto	
CA	-10,43		32	49/28		Idem var(amarelo) c/ pedregulhos, muito compacto	
CA	-11,42		32	50/27		Idem var(amarelo), muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.25 - FURO 25 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 25</b>		
Método	Profun.	N	S. P. T.		G R Á F I C O	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa marrom c/ raízes	
TH	-1,45		4	5		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-2,45		5	5		Silte arenoso marrom, pouco compacto	
TH	-3,45		7	8		Idem marrom, medianamente compacto	
CA	-4,45		28	38		Idem marrom, compacto	
CA	-5,25		56/25	30/10		Idem var(marrom), muito compacto	
CA	-6,45		40	56		Idem var(marrom), muito compacto	
CA	-7,42		43	55/27		Idem var(marrom), muito compacto	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

## ANEXO B.26 - FURO 26 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 26</b>		
Método	Profun.	N A	S. P. T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
			1ª+2ª	2ª+3ª			
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes	
TH	-1,45		5	4		Idem vermelha, consistência mole	
TH	-2,45		3	6		Idem vermelha c/ pedregulhos consistência média	
TH	-3,45		7	11		Silte arenoso marrom, medianamente compacto	
CA	-4,45		7	16		Idem var(marrom), medianamente compacto	
CA	-5,45		12	16		Idem var(marrom), medianamente compacto	
CA	-6,45		13	18		Idem var(marrom), medianamente compacto	
CA	-7,44		34	51/29		Areia fina siltosa var(amarela) c/ pedregulhos, mto compacta	
CA	-8,12		30/12	-		Idem var(amarela), muito compacta	
CA	-9,08		30/8	-		Idem var(amarela), muito compacta	
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			
####	#####		####	#####			

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.27 - FURO 27 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 27</b>	
Método	Profun.	N	S.P.T.		GRÁFICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
			1º+2º	2º+3º		
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes
TH	-1,45		7	5		Idem vermelha c/ raízes, consistência mole
TH	-2,45		4	4		Idem vermelha c/ raízes, consistência mole
TH	-3,45		9	9		Idem var(vermelha) c/ pedregulhos, consistência média
TH	-4,45		9	13		Silte arenoso var(marrom), medianamente compacto
CA	-5,45		9	10		Idem var(marrom), medianamente compacto
CA	-6,45		16	24		Idem var(marrom), compacto
CA	-7,14		30/14	-		Areia fina siltosa var(amarela) c/ pedregulhos, mto compacta
CA	-8,10		30/10	-		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, muito compacta
CA	-9,09		30/9	-		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, muito compacta
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.28 - FURO 28 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 28</b>	
Método	Profun.	N A	S. P. T.		G R Á F I C O	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
			1ª+2ª	2ª+3ª		
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha
TH	-1,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole
TH	-2,45		3	5		Idem vermelha c/ pedregulhos, consistência mole
TH	-3,45		7	8		Silte arenoso var(marrom) c/ pedregulhos, pco compacto
CA	-4,45		7	10		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, medianamente compacto
CA	-5,45		20	28		Idem var(marrom), compacto
CA	-6,45		40	51		Idem var(marrom), muito compacto
CA	-7,44		27	47/29		Idem var(marrom), muito compacto
CA	-8,24		52/24	30/9		Idem var(marrom), muito compacto
CA	-9,12		30/12	-		Idem var(marrom), muito compacto
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		

Fonte: Os autores, 2021.

ANEXO B.29 - FURO 29 DA SONDAGEM SPT.

RELATÓRIO DE SONDAGEM SPT					Furo <b>SP 29</b>	
Método	Profund.	N A	S.P.T.		G R Á F I C O	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
			1º+2º	2º+3º		
TC	-1,00		Avanço			Argila arenosa vermelha c/ raízes
TH	-1,45		2	2		Idem vermelha, consistência muito mole
TH	-2,45		3	4		Idem vermelha, consistência mole
TH	-3,45		4	9		Idem var(vermelha) c/ pedregulhos, consistência média
CA	-4,45		5	11		Silte arenoso var(marrom) c/ pedregulhos, med compacto
CA	-5,45		8	15		Idem var(marrom), medianamente compacto
CA	-6,45		20	36		Idem var(marrom), compacto
CA	-7,45		23	45		Idem var(marrom) c/ pedregulhos, muito compacto
CA	-8,36		37	55/21		Idem var(marrom), muito compacto
CA	-9,23		48/23	30/8		Idem var(marrom), muito compacto
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		
####	#####		####	#####		

Fonte: Os autores, 2021.