

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE E INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA PARA ESCOLHA DO TIPO DE
FUNDAÇÃO

Por

Camille Pereira de Oliveira

Campos dos Goytacazes – RJ

Junho/2021

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE E INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA PARA ESCOLHA DO TIPO DE
FUNDAÇÃO

Por

Camille Pereira de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado em cumprimento às
exigências para a obtenção do grau no
Curso de Graduação em Engenharia Civil
nos Institutos Superiores de Ensino do
CENSA.

Orientador: Flávia Chrysóstomo Silva, Mestre em Engenharia Civil.

Campos dos Goytacazes – RJ

Julho/2021

Oliveira, Camille Pereira de

Análise e investigação geotécnica para escolha do tipo de fundação / Camille Pereira de Oliveira. - Campos dos Goytacazes (RJ), 2021.

55 f.: il.

Orientador: Prof.^a Flávia Chrysóstomo Silva
Graduação em (Engenharia Civil) - Institutos Superiores de Ensino do CENSA, 2021.

1. Engenharia Civil. 2. Investigação Geotécnica
Tipos de Fundação. I. Título.

CDD

Bibliotecária responsável Glauce Virgínia M. Régis CRB7 - 5799.
Biblioteca Dom Bosco.

ANÁLISE E INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA PARA ESCOLHA DO TIPO DE
FUNDAÇÃO

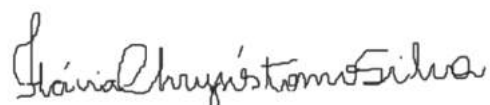
Por

Camille Pereira de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado em cumprimento às
exigências para a obtenção do grau no
Curso de Graduação em Engenharia Civil
nos Institutos Superiores de Ensino do
CENSA.

Aprovado em ___ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA



Flávia Chrysóstomo Silva, Mestre em Engenharia Civil – ISECENSA



Zélia Maria Peixoto Chripim, Doutora em Engenharia Civil – ISECENSA



Afonso Rangel Garcez de Azevedo, Doutor em Engenharia Civil – UENF

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus, que é a razão da minha vida, aos meus pais, por serem essenciais na minha trajetória e por me apoiarem em todas as decisões, às minhas avós por todo suporte financeiro, a toda família e amigos por dividir os momentos bons e ruins, e ao meu namorado por me incentivar a ser uma pessoa melhor e não desistir dos meus sonhos.

“Assim, quer vocês comam, bebam ou façam qualquer outra coisa, façam tudo para a glória de Deus”

1 Coríntios 10:31

AGRADECIMENTOS

A toda minha família pelo encorajamento durante a graduação, a instituição de ensino ISECENSA por todo suporte necessário para a elaboração do projeto, a todos os professores, por toda ajuda durante os meus estudos e elaboração do meu TCC. Quero agradecer a minha professora orientadora, pelo empenho dedicado ao meu projeto de pesquisa.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Ys – Peso específico do material da esfera

Yw – Peso específico do fluido

u – Viscosidade do fluido

D – Diâmetro da esfera

LL – Limite de liquidez

LP – Limite de Plasticidade

IP – Índice de plasticidade

CD – Ensaio Consolidado Drenado

CU – Ensaio Consolidado não Drenado

UU – Ensaio não Consolidado não Drenado

SPT – Standard Penetration Test

CPT – Cone Penetration Test

CPTU – Piezocone Penetration Test

MPM – Ménard Pressuremeter Test

SBPM – Pressiômetro autoperfurante

CPMT – Cone-Pressiômetro

DTM – Dilatometer Test

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Amostrador bipartido padrão.....	17
Figura 2: Amostrador de tubo de parede fina.....	18
Figura 3: Conjunto de peneiras utilizadas no ensaio.	20
Figura 4: Esquema de sedimentação.....	21
Figura 5: Curva de distribuição granulométrica.....	22
Figura 6: Limites de Atterberg dos solos.....	23
Figura 7: Esquema do aparelho de Casa Grande utilizado no método das conchas.	24
Figura 8: Diagrama do aparelho de ensaio.	25
Figura 9: Diagrama do equipamento de ensaio triaxial.....	26
Figura 10: Tipos de ensaio.....	28
Figura 11: Equipamento de sondagem SPT.	29
Figura 12: Perfil de sondagem.	31
Figura 13: Equipamento para ensaio de palheta.	33
Figura 14: Equipamento para ensaio – (a) caixa de controle; (b) cilindro de gás; (c) válvula de controle de pressão; (d) cabo elétrico e de pressão; (e) haste; (f) lâmina; (g) caixa de controle.	34
Figura 15: Sapata isolada.	35
Figura 16: Centro de gravidade da sapata associada.....	36
Figura 17: Sapata em divisa.....	37
Figura 18: Vista lateral da sapata corrida.....	37
Figura 19: Fundação Bloco.	38
Figura 20: Tipos de radiers: (a) Lisos; (b) Com pedestais ou em laje cogumelo; (c) nervurados (vigas invertidas); (d) Em caixão.	39
Figura 21: Viga de fundação em perspectiva.....	39
Figura 22: Principais tipos de fundações profundas: (a) estaca; (b) tubulão; (c) caixão.....	40
Figura 23: Forças que agem na estaca por percussão.....	43
Figura 24: Estaca prensada.	43
Figura 25: Estaca escavada com injeção.....	44
Figura 26: Broca de fundação.	44

Figura 27: Exemplo de estaca apiloada.....	45
Figura 28: Etapas de execução da estaca Strauss.....	46
Figura 29: Estaca escavada com fluido estabilizante.	47
Figura 30: Execução da estaca tipo Franki.....	48
Figura 31: Estaca Franki mista.....	49
Figura 32: Execução da estaca hélice contínua.....	50
Figura 33: Processo de execução estaca ômega.	51
Figura 34: Processo de execução estaca atlas.....	51
Figura 35: Localização dos furos de sondagem.....	60
Figura 36: Análise do perfil estratigráfico.	62
Figura 37: Bulbo de tensões da sapata.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de estacas.	41
Quadro 2: Relação entre a sapata e o bulbo de tensões.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tamanho dos grãos.	19
Tabela 2: Classificações granulométricas.	19
Tabela 3: Classificações granulométricas USCS.	22

SUMÁRIO

CAPÍTULO I: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
1. Investigação geotécnica	14
1.1. Amostragem de solo	14
1.1.1. Tipos de amostras	16
1.1.2. Métodos usuais de amostragem	16
1.2. Tipos de solo	18
1.3. Ensaios de caracterização	20
1.3.1. Granulometria	20
1.3.2. Limites de Atterberg	23
1.4. Ensaio de cisalhamento direto	25
1.5. Ensaio geral de compressão triaxial	26
1.6. Ensaios de campo	28
1.6.1. Ensaio de sondagem SPT	28
1.6.2. Ensaio de cone CPT e piezocone CPTU	31
1.6.3. Ensaio de palheta	32
1.6.5. Ensaio dilatométrico	34
2. Tipos de fundação	35
2.1. Superficiais	35
2.1.1. Sapatas	35
2.1.2. Bloco	37
2.1.3. Radier	38
2.1.5. Viga de Fundação	39
2.2. Profundas	39
2.2.1. Estacas	40
2.2.2. Tubulão	51
2.2.3. Caixão	52
CAPÍTULO II: ARTIGO CIENTÍFICO	53
RESUMO	54
ABSTRACT	55
1. INTRODUÇÃO	56

1.1 Objetivo geral	57
1.1.1 Objetivos específicos	57
2. METODOLOGIA.....	58
2.1 Localização do furo	58
3. RESULTADOS	60
3.1 Análise do laudo de sondagem	60
3.2 Escolha da fundação.....	63
3.2.1 Fundações superficiais.....	63
3.2.2 Fundações profundas.....	64
4. DISCUSSÃO	65
5. CONCLUSÕES	66
6. REFERÊNCIAS.....	68
CAPÍTULO III: REFERÊNCIAS.....	69
ANEXO 1: LAUDO DE SONDAÇÃO SP1.....	70
anexo 2: laudo de sondagem sp2	71
anexo 3: laudo de sondagem sp3	72

CAPÍTULO I: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

A geotecnia é considerada uma área da engenharia civil, que engloba o estudo da mecânica dos solos, rochas, fundações, contenções e estruturas da terra (DAS; SOBHAN, 2019). De acordo com a NBR 6122:2019, a vistoria geológica da obra deve ser realizada por um profissional habilitado e complementada por estudos geológicos adicionais. Para a elaboração do projeto e desempenho das fundações devem ser considerados os seguintes estudos geotécnicos:

- a) Visita ao terreno;
- b) Topografia e instabilidade de taludes;
- c) Presença de aterro;
- d) Indícios de contaminação no subsolo;
- e) Projeto e execução de fundações;
- f) Vistoria nas construções vizinhas;
- g) Estado geológico-geotécnico da área (matacões, rochas, brejos e minas d'água).

Segundo Caputo (1996), um dos maiores riscos na Engenharia de Construções é começar uma obra sem conhecimento completo do terreno. Logo, o objetivo principal da geotecnia é a partir de fundamentação científica, determinar o quanto possível a interação entre terreno, fundação e estrutura.

1.1. Amostragem de solo

Para qualquer objeção sobre Mecânica dos Solos, é necessário o maior conhecimento possível sobre as condições do solo, ou seja, sua disposição, natureza, espessura de camadas, e suas características com relação ao problema analisado. Ensaio como de prospecção e amostragem são importantes para esse conhecimento (CAPUTO, 1996).

Para a realização de fundações é necessário o conhecimento do perfil do terreno, a partir de ensaios laboratoriais das amostras de solo, as quais são retiradas de diversas profundidades. Os ensaios do subsolo são feitos pelos seguintes motivos (DAS; SOBHAN, 2019):

- a) Identificar a estratificação e natureza do solo;
- b) Coleta de amostras amolgadas e indeformadas do solo;
- c) Caso exista leito rochoso, a determinação da profundidade e natureza;
- d) Realização de ensaios de permeabilidade, ensaio de palheta e ensaio de penetração dinâmica;
- e) Condições de drenagem;
- f) Avaliação da relação entre a construção e estruturas próximas;
- g) Determinação do nível do lençol freático.

Ademais, o planejamento para a exploração do solo é dividido em quatro fases (DAS; SOBHAN, 2019):

- a) Coleta de informações sobre o tipo de estrutura a ser construída e suas cargas;
- b) Análise de informações já existentes do solo em mapas geológicos, levantamento municipal e manuais de solo, relatórios do solo de construções vizinhas, tais informações dão uma ideia do tipo de solo e possíveis problemas na perfuração;
- c) Inspeção presencial do local a ser construído e edificações vizinhas;
- d) Sondagem e coletas de amostras amolgadas e indeformadas do solo em diferentes profundidades e assim, levar para análise em laboratório. Com relação ao número e profundidade das sondagens, não existe uma regra definida, para edifícios, no mínimo uma perfuração nos cantos e uma

central são recomendadas. Para solos não uniformes podem ser realizadas sondagens adicionais.

1.1.1. Tipos de amostras

- a) Deformadas: Destinada somente para a identificação e classificação do solo (CAPUTO, 1996). Para essas amostras, utiliza-se o método de perfuração com uso de trados, tais amostras são utilizadas para determinar granulometria e limites de Atterberg no solo (DAS; SOBHAN, 2019);
- b) Indeformadas: Considera-se a conservação de textura, estrutura e umidade, e destina-se somente à execução de ensaios para a descoberta das propriedades físicas e mecânicas do solo (CAPUTO, 1996). Amostras de solo indeformadas são as que possuem índice de área menor ou igual a 10%. São usadas para ensaios de adensamento, compressão triaxial e compressão não confinada (DAS; SOBHAN, 2019);
- c) Amolgadas: Amostras com índice de área acima de 10% são consideradas amolgadas, e por meio de amostradores bipartidos, são usadas para ensaios de distribuição granulométrica, limite de liquidez, limite de plasticidade e limite de contração (DAS; SOBHAN, 2019).

1.1.2. Métodos usuais de amostragem

- a) Amostragem com amostrador bipartido padrão: Composto por uma ponteira biselada de ferro e um tubo de aço, o qual divide-se longitudinalmente em dois. O amostrador é demonstrado na Figura 1.

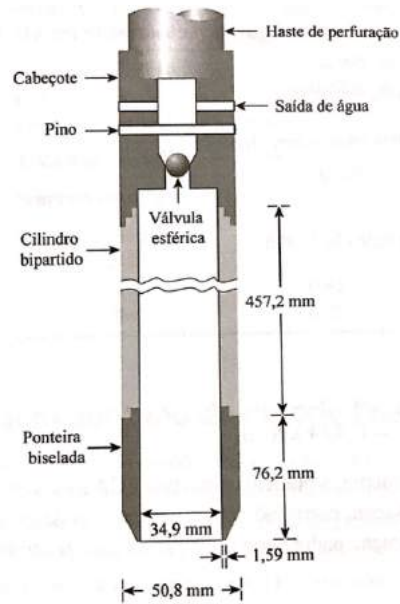


Figura 1: Amostrador bipartido padrão.

Fonte: Das; Sobhan, 2019.

Ao atingir a profundidade do estudo, são retiradas as ferramentas de perfuração, com isso, fixa-se o amostrador na haste de perfuração e baixado até o fundo do furo. A condução do amostrador ao solo é dada pelo golpe de martelete. O peso do martelete é de 65 kg e o martelete cai de uma distância de 0,75 m. Com isso, são somados quantos golpes foram necessários para guiar a amostra por três intervalos de 150 mm. Conceitua-se como número de penetração padrão ou número de golpes, a totalidade de golpes para guiar os dois últimos intervalos de 150 mm. Após a perfuração, retira-se o amostrador, a ponteira e o acoplamento, e assim, analisa-se a amostra de solo coletada no tubo bipartido. Usualmente a coleta de amostra e a determinação do número de penetração são feitas em intervalo de 1 metro;

- b) Amostragem por tubo de parede fina: Utiliza-se para a coleta de amostras de solo indeformadas. Compostos de tubos finos e sem costura, mais conhecidos como tubos Shelby, e para que as amostras sejam coletadas, é necessário retirar as ferramentas de perfuração. Inicialmente, o amostrador é acoplado à haste de perfuração, baixado até o fundo do furo, empurrado no solo, e então, o amostrador é girado contra a base e retirado. Após o procedimento, a amostra selada de solo é levada para o laboratório;

- c) Amostragem com amostrador de pistão: Com amostras altamente indeformadas, utiliza-se os amostradores de pistão, e assim, possuem um custo mais elevado. O mais utilizado é o amostrador de Osterberg, o qual é composto por tubo de parede fina com um pistão, conforme Figura 2.

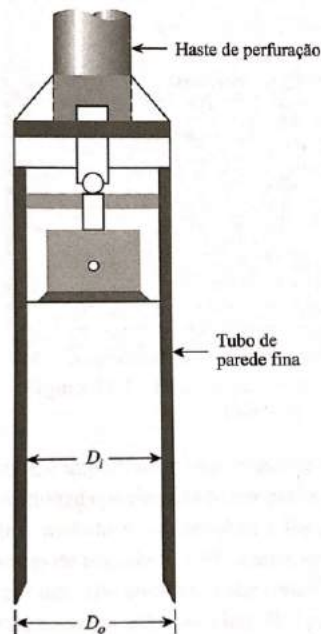


Figura 2: Amostrador de tubo de parede fina.

Fonte: Das; Sobhan, 2019.

O pistão fecha a extremidade do tubo, abaixa-se o amostrador até o fundo do furo, e então, hidraulicamente é pressionado no solo, além do pistão. Na haste do pistão, libera-se o empuxo por um orifício.

1.2. Tipos de solo

Pode-se dividir a classificação do solo em duas categorias principais: (a) Classificação com base na distribuição granulométrica; (b) De acordo com o comportamento de engenharia de solos e considerando a distribuição granulométrica e a plasticidade (limite de liquidez e índice de plasticidade) (DAS; SOBHAN, 2019).

Deve-se levar em consideração que, de acordo com as normas vigentes no Brasil, os tamanhos dos grãos são determinados de acordo com a Tabela 1 (PINTO, 2006).

Tabela 1: Tamanho dos grãos.

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	De 25 cm a 1 m
Pedra	De 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	De 4,8 mm a 7,6 cm
Areia grossa	De 2 mm a 4,8 mm
Areia média	De 0,42 mm a 2 mm
Areia fina	De 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	De 0,005 mm a 0,5 mm
Argila	Inferior a 0,005 mm

Fonte: Pinto, 2006.

Ademais, usualmente a separação entre as frações silte e areia é tomada como 0,075mm, a qual corresponde à abertura da peneira nº 200 (a mais fina utilizada em laboratório). Denomina-se o conjunto silte e argila como fração de finos do solo, e areia e pedregulho como fração grossa do solo (PINTO, 2006).

Com base na distribuição granulométrica, o solo pode ser denominado de pedregulho, areia, silte ou argila, de acordo com o tamanho das partículas. A Tabela 2 apresenta a classificação granulométrica (DAS; SOBHAN, 2019).

Tabela 2: Classificações granulométricas.

Nome da organização	Tamanho do Grão (mm)			
	Pedregulho	Areia	Silte	Argila
Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0,06	0,06 a 0,002	< 0,002
Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA)	> 2	2 a 0,05	0,05 a 0,002	< 0,002
Associação Americana de Rodovias Estaduais e Transportes (AASHTO)	76,2 a 2	2 a 0,075	0,75 a 0,002	< 0,002

Sistema Unificado de Classificação de Solos (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation e American Society for Testing and Materials)	76,2 a 4,75	4,75 a 0,075	Grãos finos (por exemplo: siltes e argilas) < 0,075
---	-------------	--------------	---

Fonte: Das; Sobhan, 2019.

1.3. Ensaios de caracterização

1.3.1. Granulometria

Segundo Das e Sobhan (2019), o ensaio granulométrico determina o tamanho das partículas no solo, pode-se expressar como uma porcentagem do peso total. São utilizados dois métodos:

- a) Ensaio de peneiramento – partículas com diâmetro maior que 0,075 mm, o ensaio é realizado agitando uma amostra de solo em um conjunto de peneiras, ilustrado na Figura 3, as quais possuem aberturas progressivamente menores;



Figura 3: Conjunto de peneiras utilizadas no ensaio.

Fonte: Guia da Engenharia, 2020.

- b) Ensaio de sedimentação – partículas com diâmetros menores que 0,075mm, onde se tem como base a sedimentação dos grãos de solo na água, ao ser dispersa, tem-se a sedimentação das partículas em diferentes velocidades, de acordo com o tamanho, peso, forma e viscosidade da água.

O solo é colocado em suspensão na água, e cairá em velocidade proporcionalmente ao seu diâmetro. A Figura 4 exemplifica um esquema de Ensaio, onde os grãos são identificados de tamanhos diferentes (DAS; SOBHAN, 2019).

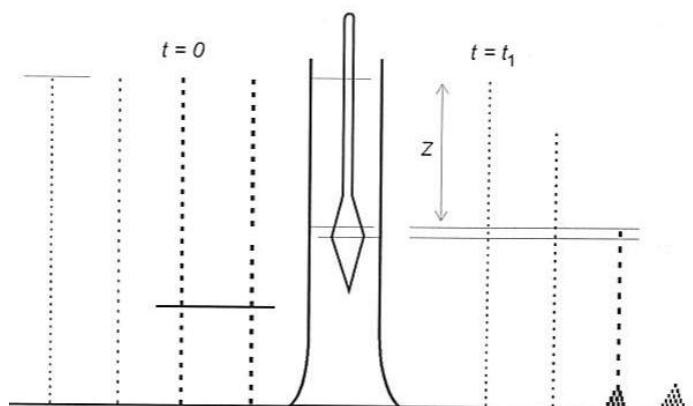


Figura 4: Esquema de sedimentação.

Fonte: Pinto, 2006.

A técnica da sedimentação se baseia na Lei de Stokes, onde a velocidade de queda de partículas esféricas em um fluido atinge um valor limite, o qual depende do peso específico do material da esfera (γ_s), do peso específico do fluido (γ_w), da viscosidade do fluido (μ), e do diâmetro da esfera (D) (PINTO, 2006).

No solo, encontram-se partículas de diversos tamanhos, os quais não são identificados facilmente, pois grãos de areia, por exemplo, podem estar envoltos por finas partículas argilosas, ficando com o mesmo aspecto. Quando secas, são dificilmente diferenciáveis, quando úmidas, as partículas argilosas se transformam em uma pasta fina, enquanto a arenosa é reconhecida pelo tato. Dessa forma, são indispensáveis que os grãos se encontrem bastante úmidos (PINTO, 2006).

Ao realizar a análise granulométrica, chama-se a abertura nominal da peneira de diâmetro das partículas, porém, é considerado um diâmetro equivalente, visto que, as partículas não são esféricas.

A NBR 7181: 2018, determina que o resultado deve ser apresentado graficamente, contendo na abscissa os diâmetros das partículas de forma

logarítmica, e na ordenada, a porcentagem das partículas passantes, de forma aritmética. A Figura 5 apresenta um exemplo de curva de distribuição granulométrica do solo.

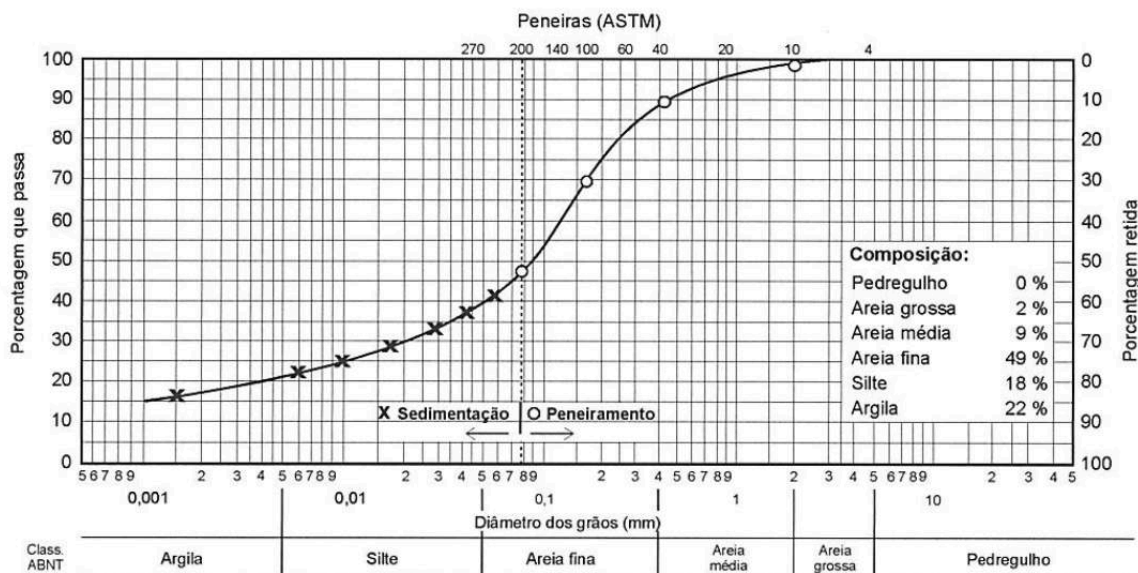


Figura 5: Curva de distribuição granulométrica.

Fonte: Pinto, 2006.

Após analisar a curva de distribuição granulométrica, pode-se determinar o tamanho das partículas de pedregulho, silte, argila e areia, de acordo com a *Unified Soil Classification System* (Sistema Unificado de Classificação dos Solos), a partir da Tabela 3.

Tabela 3: Classificações granulométricas USCS.

Tamanho (mm)	Porcentagem passante	Tipo de solo (%):
76,2	100	$100 - 100 = 0\%$ de cascalho
4,75	100	$100 - 62 = 38\%$ de areia
0,075	62	$62 - 0 = 62\%$ de silte e argila
-	0	

Fonte: Das; Sobhan, 2019.

1.3.2. Limites de Atterberg

O método descreve a consistência de solos finos com teores de umidades variados. Para teores de umidade muito baixos, o solo se comporta como sólido. Para teores de umidade muito altos, solo e água podem fluir como líquido. Com isso, dependendo do teor de umidade, o comportamento do solo pode dividir-se em sólido, semissólido, plástico e líquido (DAS; SOBHAN, 2019).

O teor de umidade na transição entre estado sólido para semissólido é chamado de limite de contração (expresso em termos percentuais). O teor de umidade na transição entre semissólido e plástico é chamado de limite de plasticidade, e do estado plástico para o líquido é chamado de limite de liquidez. Tais parâmetros também são conhecidos como limites de Atterberg (DAS; SOBHAN, 2019).

Os limites demonstram como um solo argiloso possui aspectos distintos de acordo com seu teor de umidade. Quando muito úmido, se comporta como líquido, ao perder parte de sua água fica plástico e ao secar, torna-se quebradiço. Correspondendo os teores de umidade às mudanças de estado, conforme Figura 6 (PINTO, 2006).

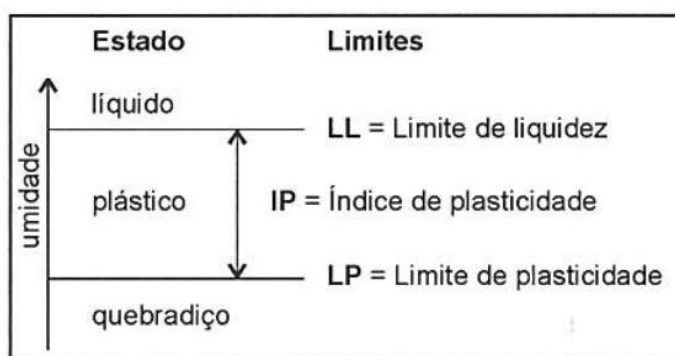


Figura 6: Limites de Atterberg dos solos.

Fonte: Pinto, 2006.

O limite de liquidez (LL) é normatizado pela NBR 6459:2016, e determina-se a partir do método das conchas, o qual foi desenvolvido por Casagrande em 1932. Esse aparelho é formado por uma concha de latão e uma base de ebonite, demonstrado na Figura 7 (DAS; SOBHAN, 2019).

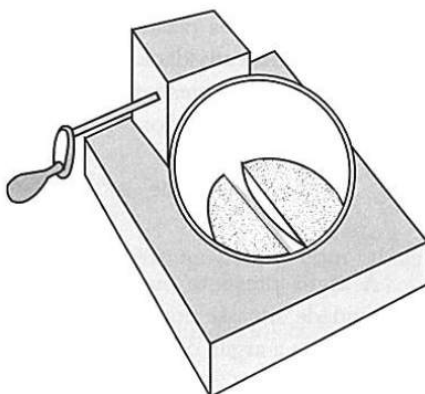


Figura 7: Esquema do aparelho de Casa Grande utilizado no método das conchas.

Fonte: Pinto, 2006.

Ao acionar uma manivela, a concha de latão pode ser golpeada contra a base (DAS; SOBHAN, 2019). O método é realizado da seguinte forma:

- a) É necessário colocar a pasta de solo na concha;
- b) Uma ranhura deve ser aberta no centro da amostra de solo com um cinzel padrão (existem dois tipos de cinzel: cinzéis planos e cinzéis de cunha);
- c) Ao acionar a manivela, a concha ergue-se e cai de uma altura de 10mm.

Com isso, o teor de umidade (em termos percentuais), necessário para fechar uma distância de 12,5 mm junto à parte inferior da ranhura após 25 golpes é chamado de limite de liquidez. Porém, tem-se dificuldade de ajustar o teor de umidade para atender o valor de 12,5 mm requerido da ranhura da amostra com 25 golpes, então, é realizado no mínimo três ensaios no mesmo solo, com diferentes teores de umidade, com o número de golpes necessário para obter um fechamento entre 15 e 35 (DAS; SOBHAN, 2019).

O limite de plasticidade (LP) é normatizado na NBR 7180:2016, e é o teor de umidade expresso em porcentagem, em que ocorre fissuração do solo ao ser moldado na forma de um cilindro de 3,2 mm de diâmetro. O ensaio é realizado

moldando-se repetidamente uma massa de solo de formato elipsoidal com as mãos sobre uma placa de vidro (DAS; SOBHAN, 2019).

Com isso, tem-se o índice de plasticidade (IP), o qual é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. Esse índice é importante na classificação dos solos granulares finos e para o gráfico de plasticidade de Casagrande (DAS; SOBHAN, 2019).

1.4. Ensaio de cisalhamento direto

De acordo com a NBR 12957:2013, o ensaio de cisalhamento direto determina parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo.

É considerada a forma mais antiga e simples para o ensaio de cisalhamento. Para o ensaio, é utilizada uma caixa metálica de cisalhamento, onde coloca-se o corpo de prova de solo, podendo ter dimensões de 51 mm x 51 mm ou 102 mm x 102 mm e 25 mm de altura. Divide-se a caixa horizontalmente em duas partes, e coloca-se uma força normal de até 1.050 kN/m^2 no corpo de prova, a partir do topo da caixa de cisalhamento. A força de cisalhamento é aplicada movendo metade da caixa sobre a outra, com a intenção de provocar a ruptura no corpo de prova. Como resultado, têm-se gráficos com curvas de resistência. O ensaio pode ser feito de tensão controlada ou de deformação controlada. Um diagrama do arranjo para o ensaio de cisalhamento direto é mostrado na Figura 8 (DAS; SOBHAN, 2019).

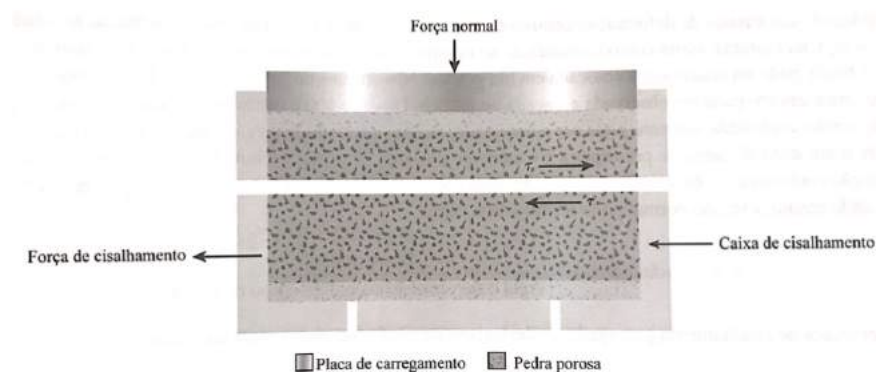


Figura 8: Diagrama do aparelho de ensaio.

Fonte: Das; Sobhan, 2019.

1.5. Ensaio geral de compressão triaxial

O ensaio determina parâmetros de resistência ao cisalhamento, e é considerado um dos métodos mais disponíveis e confiáveis, tendo sua maior utilização para ensaios de pesquisa e ensaios convencionais (DAS; SOBHAN, 2019).

Para o ensaio, é utilizado um corpo de prova de solo de diâmetro de aproximadamente 36 mm e 76 mm de comprimento. Envolve-se o corpo de prova por uma fina camada de borracha e é colocado dentro de uma câmara cilíndrica preenchida com água ou glicerina. Submete-se o corpo de prova a uma pressão de confinamento por compressão do fluido da câmara. E para causar a ruptura de cisalhamento, deve-se aplicar a tensão axial pela haste de carregamento vertical. Pode-se aplicar essa tensão de duas formas: (a) Aplicação de pesos ou pressão hidráulica em incrementos iguais; (b) Aplicação da deformação axial do corpo a uma taxa constante por meio de uma prensa de carregamento mecânica ou hidráulica. A Figura 9 demonstra um diagrama do *layout* de ensaio triaxial (DAS; SOBHAN, 2019).

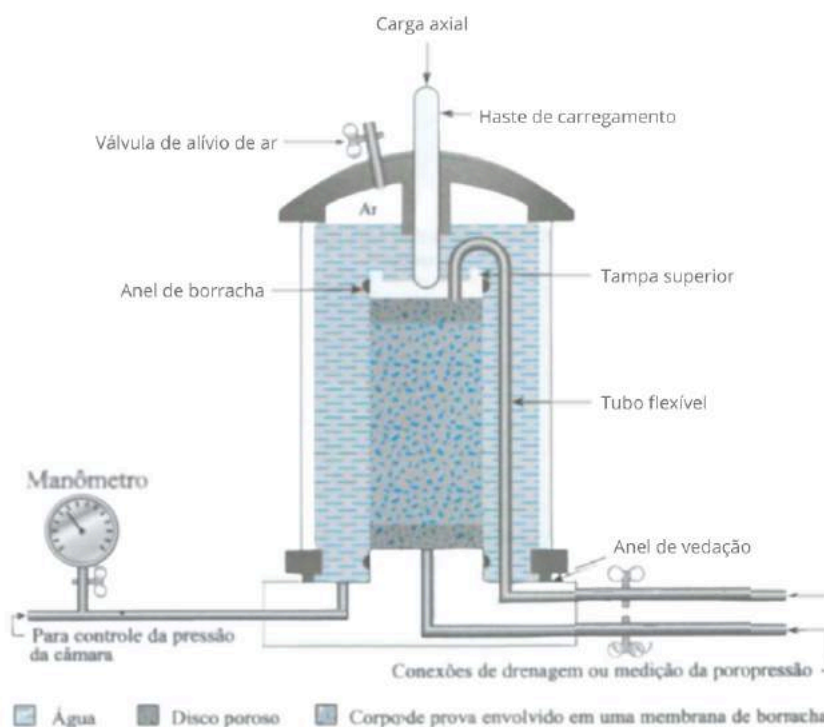


Figura 9: Diagrama do equipamento de ensaio triaxial.

Fonte: Das; Sobhan, 2019.

Não existem tensões de cisalhamento nas bases e nas geratrizes do corpo de prova, logo, os planos principais são os planos horizontais e verticais. Caso o ensaio seja de carregamento, tem-se como plano principal o plano horizontal. No plano vertical, o plano principal menor, atua a pressão confinante. Denomina-se a tensão devida ao carregamento axial como acréscimo de tensão axial ou tensão desviadora (PINTO, 2006).

Conforme a NBR 6122:2019 e de acordo com as condições de drenagem, na fase de adensamento sob tensão confinante ou na fase de aplicação da tensão desviadora. O ensaio classifica-se como:

a) Ensaio consolidado drenado (CD);

Nesse tipo de ensaio, o corpo de prova saturado é sujeito a uma pressão de confinamento, e ao aumentar essa pressão, a poropressão do corpo de prova aumenta. O fator que torna o ensaio incomum, é a demora a ser concluído em solo argiloso. Isso ocorre por conta da tensão desviadora, a qual deve ser aplicada lentamente para garantir a drenagem plena (DAS; SOBHAN, 2019).

b) Ensaio consolidado não drenado (CU);

Considerado o ensaio mais comum. O corpo de prova de solo saturado é adensado por uma pressão de fluido, resultando em drenagem. Após a poropressão gerada, a tensão desviadora no corpo de prova é aumentada para obter a ruptura de cisalhamento (DAS; SOBHAN, 2019).

Caso no ensaio consolidado não drenado (CU) foram feitas medidas das poropressões, pode-se obter parâmetros de resistência em termos de tensões efetivas.

c) Ensaio não consolidado não drenado (UU).

Não é permitida a drenagem do corpo de prova do solo durante a aplicação da pressão da câmara. Ao aplicar a tensão desviadora, o corpo de prova é

cisalhado, e assim, a drenagem é impedida. Por conta desse impedimento, o ensaio pode ser realizado de forma rápida (DAS; SOBHAN, 2019).

1.6. Ensaio de campo

Os projetos geotécnicos e análise dos resultados podem ser divididos em dois questionamentos distintos (ODEBRECHT, 2012):

- a) Métodos diretos: Empíricos ou semiempíricos, de base estatística, onde as medidas de ensaio são ligadas ao desempenho das obras geotécnicas.
- b) Métodos indiretos: Resultados de ensaios baseados nas formulações de mecânica dos solos.

A determinação do método está relacionada à escolha do solo, técnica, normas, códigos e práticas já adotadas na região. A Figura 10 mostra os tipos de ensaio mais utilizados no Brasil (ODEBRECHT, 2012).

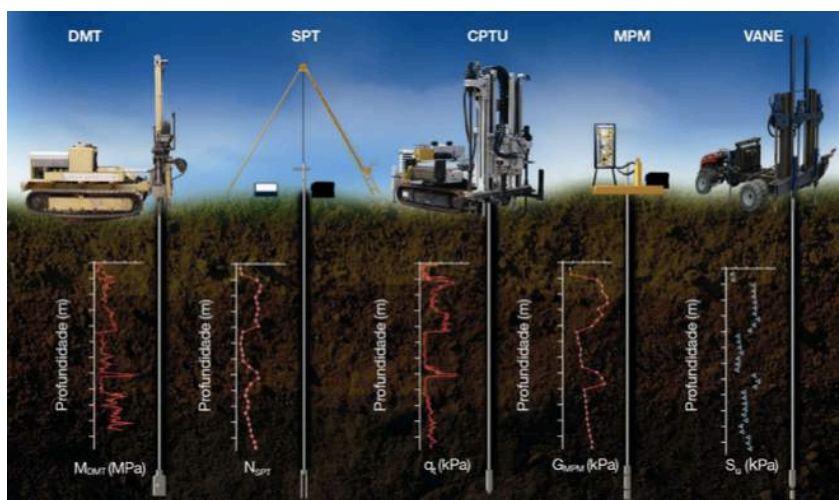


Figura 10: Tipos de ensaio.

Fonte: Odebrecht, 2012.

1.6.1. Ensaio de sondagem SPT

O *Standard Penetration Test* (SPT) é indicado para o estudo de solos granulares e para a previsão de valores do ângulo de atrito interno, porém, não é bem-sucedido na previsão da resistência não drenada de depósitos de argilas moles. É o processo de investigação geotécnica mais popular, rotineiro e

econômico, para projetos de fundações no Brasil, é muito usado o ensaio SPT (ODEBRECHT, 2012).

O ensaio é regulamentado pela NBR 6484:2020. Esse processo de sondagem é padronizado internacionalmente, assim, os resultados desse ensaio, podem ser interpretados por todos os que conhecem o método. A sondagem é realizada por um equipamento composto por um “tripé”, o qual possui quadro pernas. Com isso, se deixa cair um peso de 65 kg do “tripé” com uma altura de 75 cm. E a partir desse peso, penetra-se no solo um tubo de aço padronizado, chamado de amostrador Terzaghi, de dimensões 50,8 mm de diâmetro externo e 34,92 mm de diâmetro interno. Fixa-se o amostrador a uma haste de 25,4 mm, a qual emenda-se por rosqueamento, de acordo com que o amostrador vai perfurando o solo. Vale ressaltar que, o amostrador pode ser aberto para visualização do solo. A partir desse ensaio, obtém-se o nível da água do lençol freático, tipo de solo e sua resistência. Os equipamentos do SPT estão demonstrados na Figura 11 (REBELLO, 2008).

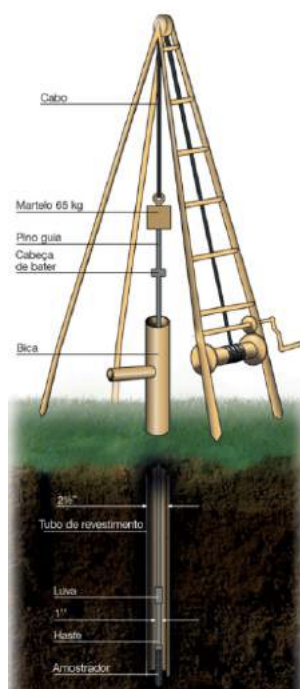


Figura 11: Equipamento de sondagem SPT.

Fonte: Odebrecht, 2012.

O procedimento é dividido em etapas, inicialmente, tem-se o furo de 1 m de profundidade no solo, o qual é feito com uma cavadeira. Apoia-se o fundo do

amostrador no fundo do furo, com isso, o peso é lançado até a profundidade de 45cm, e conta-se quantos golpes são necessários para atingi-la, e ao mesmo tempo, conta-se o número de golpes para cada 15cm. É chamado de SPT (*Standart Penetration Test*) o número de golpes dos últimos 30cm de cada metro perfurado. E a partir disso, determina-se a resistência, consistência, compacidade e coesão do solo. Todo metro perfurado, é retirado amostras de solo retido no amostrador. As amostras são analisadas e são classificadas quanto à granulometria. O SPT é considerado zero quando o amostrador afunda com seu peso próprio (REBELLO, 2008).

Para obter o resultado desse ensaio, primeiramente, são anotadas todas as informações alcançadas na sondagem e depois, são passadas para uma planilha, chamada de perfil de sondagem, demonstrada na Figura 12 (REBELLO, 2008).

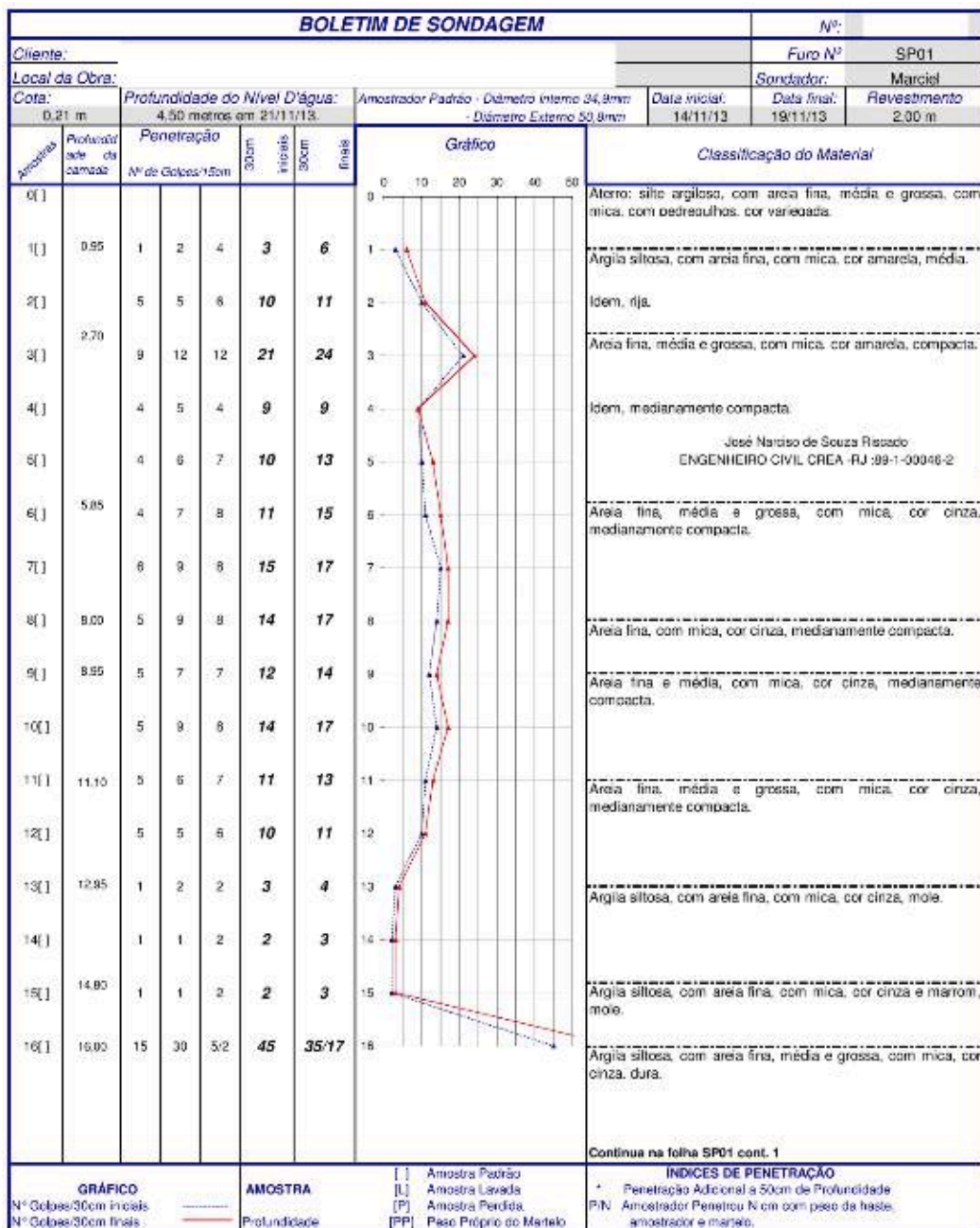


Figura 12: Perfil de sondagem.

Fonte: Riscado Engenharia, 2013.

1.6.2. Ensaio de cone CPT e piezocone CPTU

Os ensaios CPT (*cone penetration test*) e CPTU (*piezocone penetration test*) são utilizados como ferramenta de prospecção geotécnica, seus resultados ajudam a determinação estratigráfica de perfis de solos, propriedades dos materiais prospectados (em depósitos de argilas moles), e previsão da capacidade de carga de uma fundação (ODEBRECHT, 2012).

O ensaio deve ser feito de acordo com o padrão americano ASTM D2435/D2435M e ASTM D5778. É basicamente a cravação contínua de uma ponteira, a qual é formada por cone e luva de atrito. Na NBR 6484:2020 descreve que através do CPTU, pode-se obter a medida da poropressão durante a cravação e sua dissipação.

O equipamento é composto por hastes emendáveis com um cone em sua ponta. Os equipamentos mais modernos possuem um cone elétrico, os quais geram simultaneamente gráficos com resultados. Tais resultados são obtidos por toda profundidade da sondagem. Porém, deve-se atentar ao desvio do cone durante a penetração, e demonstram resultados melhores em argilas moles (REBELLO, 2008).

1.6.3. Ensaio de palheta

Ensaio baseado na NBR 10905:1989. De acordo com Odebrecht (2012), o ensaio de palheta (*vane test*) determina a resistência ao cisalhamento não drenada de depósitos de argilas moles. Utiliza-se uma palheta de seção cruciforme, e ao entrar nos solos de argilas saturadas, submete-se a um torque necessário para que o solo cisalhe por rotação em condições não drenadas. Necessita-se então, o conhecimento do solo onde o ensaio será aplicado. É permitido sua utilização em argilas com resistência até 200 kPa, mas conforme a NBR 10905:2019, a palheta apresenta melhor desempenho em argilas com resistências menores que 50kPa, são considerados três tópicos determinantes para a utilização desse ensaio:

- a) N_{spt} menor ou igual a 2, ou seja, resistência de penetração menor ou igual a 1.000 kPa;
- b) Matriz predominante argilosa;
- c) Ausência de lentes de areia.

O equipamento é constituído por uma palheta de quatro aletas, composta por aço de alta resistência, com altura igual ao dobro do diâmetro. Possui haste em aço, a qual conduz a palheta até profundidade do ensaio, é protegida por um

tubo de proteção, o qual elimina o atrito solo-haste. Para a medição do torque, é utilizado um equipamento de aplicação. A Figura 13 demonstra um esquema do equipamento para ensaio de palheta (ODEBRECHT, 2012).

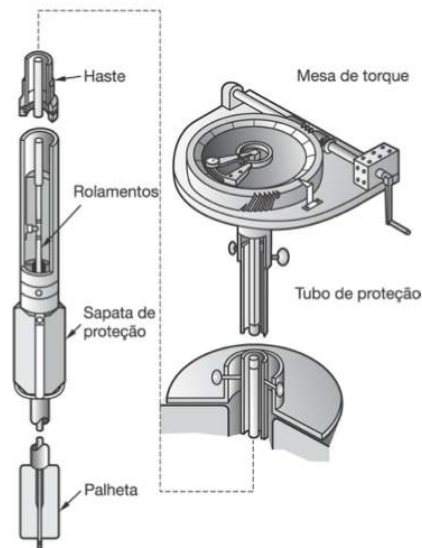


Figura 13: Equipamento para ensaio de palheta.

Fonte: Odebrecht, 2012.

1.6.4. Ensaio pressiométrico

O equipamento de investigação geotécnica é utilizado para a descoberta da tensão-deformação de solos. Para a instalação da sonda pressiométrica no solo, pode ser utilizado diversos procedimentos, os quais visam acabar com os efeitos de amolgamento, o que acontece com a entrada da sonda no terreno, e para a melhor adaptação do ensaio em diferentes tipos de solo. Podem-se dividir os equipamentos em três categorias (ODEBRECHT, 2012):

- a) Pressiômetros em pré furo: Escava-se um furo de soldagem para que seja colocado a solda. Para solos argilosos, é necessária a utilização de lama bentonítica. O ensaio tipo MPM (*ménard*) é um exemplo dessa categoria. O equipamento é composto por uma sonda pressiométrica, painel de controle de pressão e volume e uma fonte de pressão;
- b) Pressiômetro autoperfurante (SBPM): Essa técnica minimiza os efeitos de perturbação no solo ao redor da sonda ao inserir o equipamento, pois, um tubo de parede fina é inserido no solo ao mesmo tempo em que as partículas de solo que são deslocadas pelo dispositivo, são fragmentadas

por uma sapata cortante e a partir do fluxo de água, são removidas. Para essa técnica, é necessária uma equipe de elevado treinamento;

- c) Pressiômetro cravado: Nessa técnica, os pressiômetros penetram no solo por meio de cravação, com destaque ao CPMT (cone-pressiômetro), onde se monta o módulo pressiométrico diretamente no fuste de um cone. Ligando a robustez do cone com as medidas tensão-deformação enviada pelo pressiômetro. A cravação do cone é interrompida em certas alturas, para a procedência da sonda pressiométrica.

1.6.5. Ensaio dilatométrico

O datitômetro é composto por uma lâmina de aço inoxidável. No ensaio DMT (*Dilatometer Test*), para medir as propriedades mecânicas do solo, crava-se a lâmina no terreno, com o objetivo de medir o esforço necessário para a penetração, e então, usar a pressão de gás para que a membrana circular de aço no solo possa se expandir. O equipamento constitui-se de caixa de controle, cilindro de gás, válvula de controle de pressão, cabo elétrico e de pressão, haste, lâmina e caixa de controle do dilatômetro sísmico, conforme Figura 14 (ODEBRECHT, 2012).

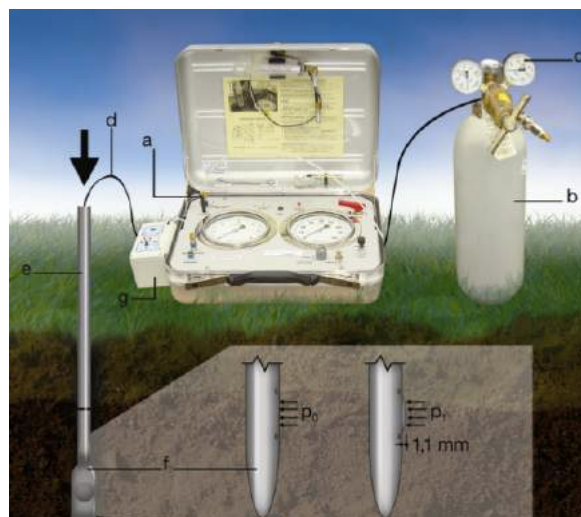


Figura 14: Equipamento para ensaio – (a) caixa de controle; (b) cilindro de gás; (c) válvula de controle de pressão; (d) cabo elétrico e de pressão; (e) haste; (f) lâmina; (g) caixa de controle.

Fonte: Odebrecht, 2012.

2. TIPOS DE FUNDAÇÃO

A definição da NBR 6122:2019 destaca que as fundações são divididas em superficiais e profundas.

2.1. Superficiais

Segundo a NBR 6122:2019 fundações superficiais são elementos de fundação onde as cargas são transmitidas ao terreno, predominantemente por pressões distribuídas sobre a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento com relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Os tipos dessa fundação são: sapatas, blocos, radier, sapatas associadas, vigas de fundação e sapatas corridas.

2.1.1. Sapatas

- a) Sapata isolada: Com base na NBR 6122:2019, a sapata isolada é formada por concreto armado, dimensionado para que as tensões de tração aplicadas não sejam resistidas pelo concreto e sim pela armadura. Possui espessura constante ou variável, com sua base em planta podendo ser quadrada, retangular ou trapezoidal conforme Figura 15.

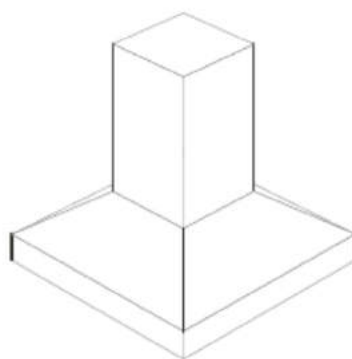


Figura 15: Sapata isolada.

Fonte: Revista Técnica, 2004.

São elementos de alta rigidez, e as sapatas de altura variável, geram uma economia de concreto (VELLOSO; LOPES, 2010). As dimensões da sapata são determinadas pelas cargas aplicadas e pela resistência do solo. Determina-se a área da base da sapata conhecendo a carga sobre ela e colocando como tensão

máxima a taxa do solo. E após determinar a área da sapata, pode-se determinar as dimensões laterais (REBELLO, 2008).

Sapata associada (ou radier parcial): Sapata comum a variados pilares, mas com os centros, em planta, não situados no mesmo alinhamento, devem representar menos de 70% das cargas da estrutura, conforme NBR 6122:2019. Indicada quando dois ou mais pilares estão muito próximos, sendo assim, possível que as sapatas se sobreponham, logo, os pilares devem ser colocados sobre uma única sapata. Para que a distribuição das tensões seja igual, é necessário que o centro de gravidade da sapata seja o mesmo do centro das cargas dos pilares, conforme Figura 16 (REBELLO, 2008).

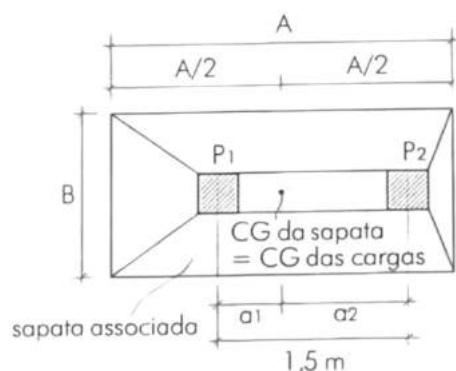


Figura 16: Centro de gravidade da sapata associada.

Fonte: Rebello, 2008.

- b) Sapata em divisa: Utilizada quando o pilar encontra-se faceando a divisa da construção, onde não se pode avançar com a fundação além da divisa, nessa situação, pode-se utilizar a sapata excêntrica ou a viga alavanca. De acordo com a Figura 17 (REBELLO, 2008).

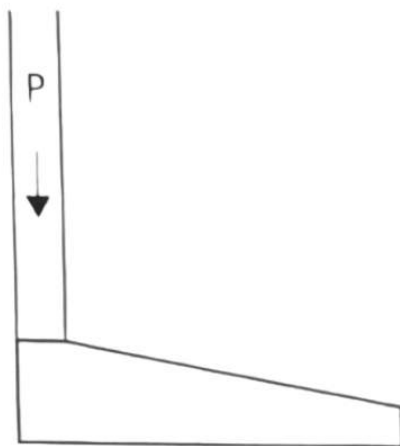


Figura 17: Sapata em divisa.

Fonte: Rebello, 2008.

- c) Sapata corrida: Sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de três ou mais pilares no mesmo alinhamento, devem representar menos de 70% das cargas da estrutura, de acordo com a NBR 6122:2019. É composta de uma placa de concreto armado, onde o comprimento, prevalece com relação à largura, conforme Figura 18 (REBELLO, 2008).

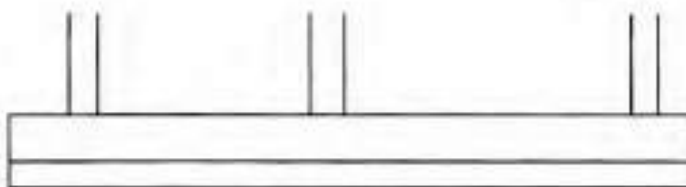


Figura 18: Vista lateral da sapata corrida.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

2.1.2. Bloco

Segundo a NBR 6122:2019, bloco é um elemento de concreto, dimensionada para que as tensões de tração aplicadas sejam resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura. Pode ter faces verticais, inclinadas ou escalonadas, e apresentando em planta seção quadrada ou retangular, e devem ser dimensionados de tal maneira que o ângulo $\beta \geq 60^\circ$. Para garantir a segurança do cisalhamento, as tensões de tração (máximas na base), devem ser inferiores à resistência à tração do concreto. São considerados elementos de alta rigidez, mas para cargas elevadas, a altura necessária do bloco pode exigir

escavações profundas, e volume de concreto, o colocando em desvantagem com relação à sapata. Ilustrada na Figura 19 (VELLOSO; LOPES, 2010).

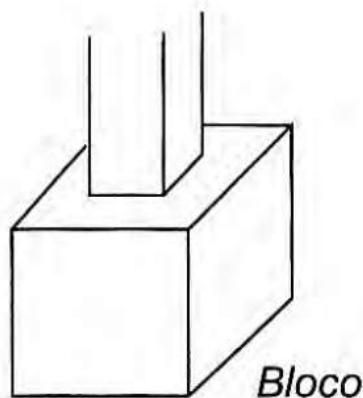


Figura 19: Fundação Bloco.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

2.1.3. Radier

Na NBR 6122:2019, consta que radier é uma fundação que abrange todos os pilares da obra ou carregamentos. Utiliza-se quando:

- a) As áreas das sapatas são muito próximas ou se interpenetram;
- b) Deseja-se uniformizar os recalques;
- c) Quando a área total da sapata for maior que metade da área da construção.

Segundo Rebello (2008), o radier se comporta melhor em solos com SPT maior que 4, e sua principal função é fazer com que a laje construída tenha rigidez, e assim, evitando que alguma parte recalque mais do que a outra, evitando o recalque diferencial. Ademais, pode-se dividi-la em quatro tipos principais, conforme Figura 20 (VELLOSO; LOPES, 2010).

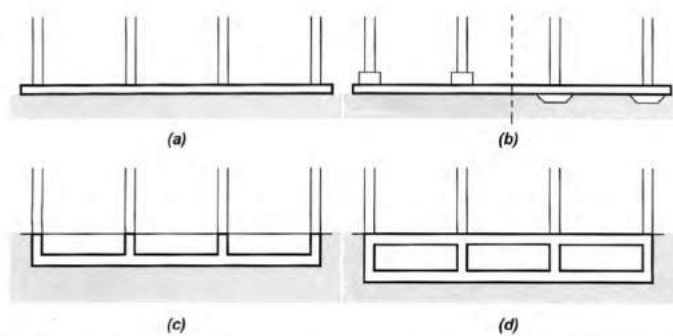


Figura 20: Tipos de radiers: (a) Lisos; (b) Com pedestais ou em laje cogumelo; (c) nervurados (vigas invertidas); (d) Em caixão.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

2.1.5. Viga de Fundação

Elemento de fundação comum a vários pilares, e com os centros, em planta, situados no mesmo alinhamento, conforme NBR 6122:2019, e como pode ser visto na Figura 21.

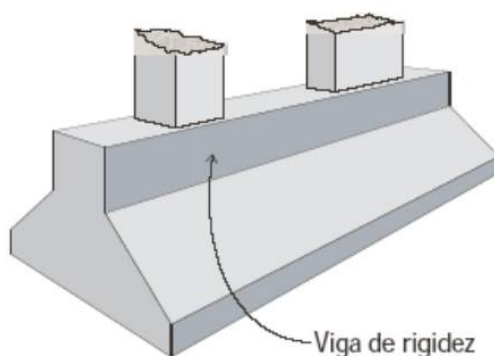


Figura 21: Viga de fundação em perspectiva.

Fonte: Revista Técnica, 2004.

Possui mesmo recalque nos pontos de ligação dos pilares quando todos os pontos da viga possuem carregamento centrado ou quando a viga de fundação tem grande rigidez comparada ao terreno (VELLOSO; LOPES, 2010).

2.2. Profundas

A NBR 6122:2019 classifica fundações profundas como elementos de fundação que transmitem a carga ao terreno pela base, pela superfície lateral ou por uma combinação das duas, tendo profundidade superior ao dobro de sua

menor dimensão em planta, e no mínimo 3 metros, salvo justificativa. Os tipos de fundações profundas são: Estacas, tubulões e caixões, conforme Figura 22.

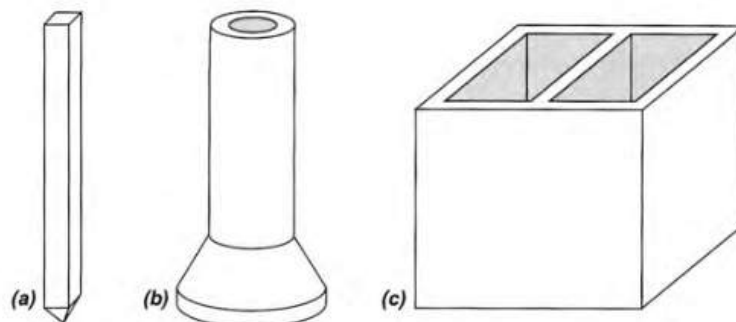


Figura 22: Principais tipos de fundações profundas: (a) estaca; (b) tubulão; (c) caixão.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

2.2.1. Estacas

De acordo com a, NBR 6122:2019, estaca é uma fundação executada inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem descida de operário. Pode ser composta por: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado *in situ* ou mistos.

Segundo Velloso e Lopes (2010), as estacas também podem ser classificadas de acordo com a forma de execução e segundo o efeito que a execução gera no solo, como:

- a) De deslocamento: Estacas cravadas em geral, pois o solo é deslocado horizontalmente no espaço em que a estaca ocupa;
- b) De substituição: Estacas escavadas em geral, pois o solo é removido, causando redução no nível das tensões horizontais geostáticas;
- c) Sem deslocamento: Estacas escavadas, onde não ocorre remoção do solo e/ou ao concretar, as tensões geostáticas são restabelecidas, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1: Tipos de estacas.

Tipos de execução	Estacas	
De deslocamento	Grande	(i) Madeira; (ii) Pré-moldadas de concreto; (iii) Tubos de aço de ponta fechada; (iv) Tipo Franki; (v) Microestacas injetadas.
	Pequeno	(i) Perfis de aço; (ii) Tubos de aço de ponta aberta (desde que não haja embuchamento na cravação); (iii) Estacas hélice especiais (“estacas hélice de deslocamento”).
Sem deslocamento	(i) Escavadas com revestimento metálico perdido que avança à frente da escavação; (ii) Estacas raiz.	
De substituição	(i) Escavadas sem revestimento ou com uso de lama; (ii) Tipo Strauss; (iii) Estaca hélice contínua em geral.	

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

De acordo com Terzaghi e Peck (1967), classifica-se também em três tipos:

- a) Estacas de atrito em solos granulares muito permeáveis (estacas de compactação): Possui maior transferência de carga por atrito lateral, e o processo de cravação é próximo entre si, reduzindo a porosidade e compressibilidade do solo;
- b) Estacas de atrito em solos finos e de baixa permeabilidade (fundações em estacas flutuantes): Transferem ao solo cargas aplicadas pelo atrito lateral, mas não produzem compactação;
- c) Estacas de ponta: Possui transferência de carga a uma camada do solo resistente e situada a uma grande profundidade abaixo da base da estrutura.

Podem-se dividir as estacas de acordo com o local de construção, em estacas pré-moldadas e estacas moldadas no solo. Nas estacas pré-moldadas, de todos os materiais de construção, o que melhor se aplica é o concreto, por alta resistência a carga e aos agentes agressivos, alternância de secagem e umedecimento. Pode ser moldada em canteiro ou usina (VELLOSO; LOPES, 2010).

Sua grande vantagem é a boa qualidade do concreto que é obtido, pois os agentes agressivos encontrados no solo, não causam nenhuma reação no concreto. Como desvantagem, se aplica a dificuldade de adaptação às variações do terreno, e pode necessitar de corte ou emenda de estacas, aumentando o custo. A grande vantagem das estacas moldadas no solo (considerando as de concreto) é concretar exatamente no comprimento necessário, e também possui capacidade de carga maior. Podem ser executadas em solos muito duros e rochas, locais onde a estaca pré-moldada não alcançaria (VELLOSO; LOPES, 2010).

Segundo a NBR 6122:2019 as estacas são divididas em 10 grupos:

- a) Estaca cravada por percussão: Fundação em que a própria estaca ou molde é introduzido no terreno através de golpes utilizando um martelo, podendo ser de gravidade, explosão, vapor, diesel, ar comprimido ou vibratório. Pode ser precedida por escavação ou lançamento. A Figura 23 demonstra a força aplicada na estaca e as forças de reação por atrito e de ponta (REBELLO, 2008);

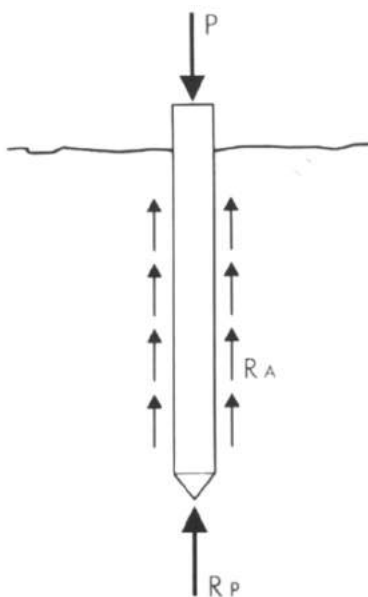


Figura 23: Forças que agem na estaca por percussão.

Fonte: Rebello, 2008.

- b) Estaca cravada por prensagem: Utiliza um macaco hidráulico, onde a própria estaca ou molde é introduzido no terreno, de acordo com Figura 24;

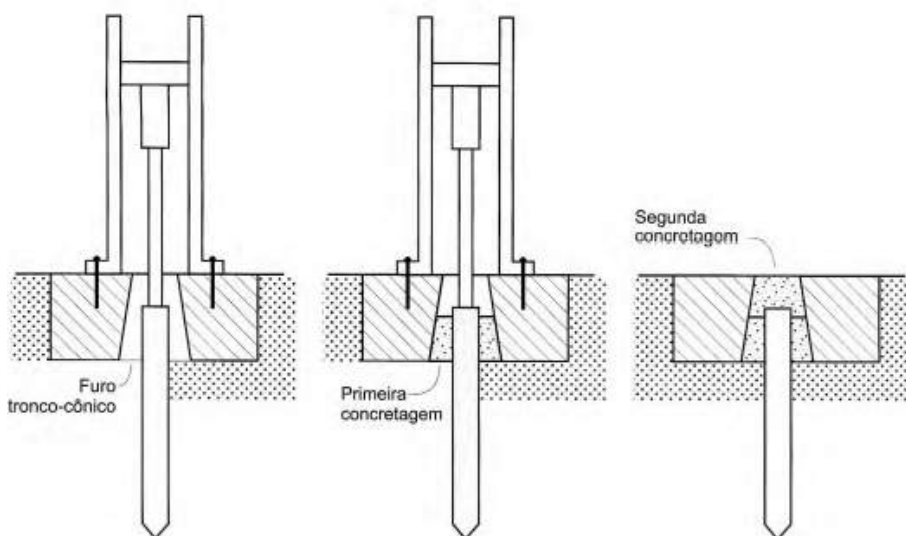


Figura 24: Estaca prensada.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

- c) Estaca escavada, com injeção: Fundação executada através de injeção sob pressão de produto aglutinante (calda de cimento ou argamassa de cimento e areia), pode ser feita durante ou após a instalação da estaca. Procura-se garantir a integridade do fuste ou aumentar a resistência de atrito lateral, de ponta, ou ambos. Representado na Figura 25;

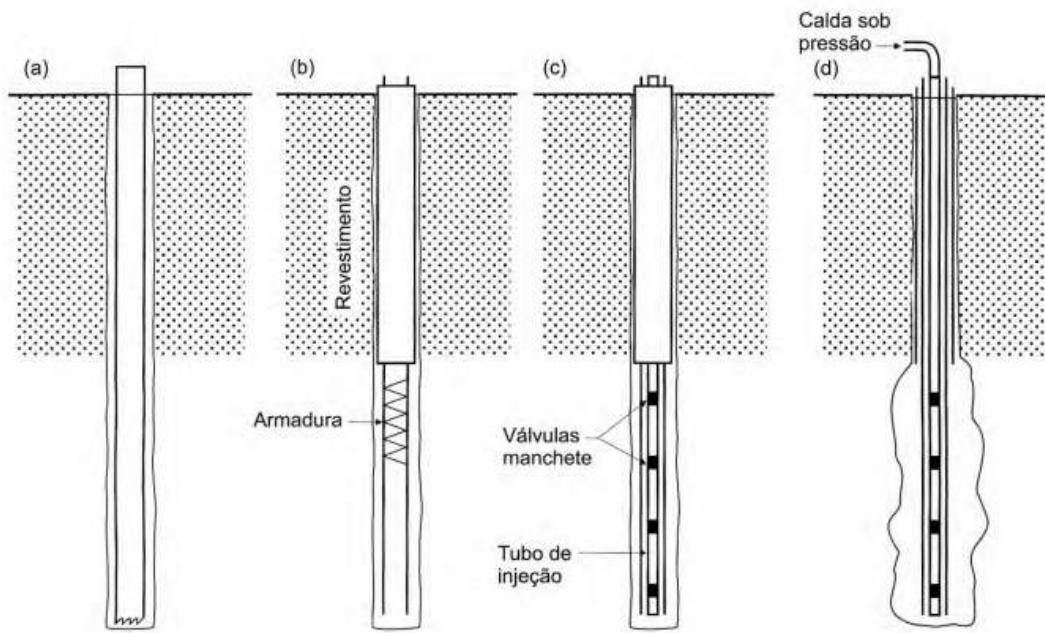


Figura 25: Estaca escavada com injeção.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

- d) Estaca tipo broca: Executada por perfuração ocorre após a concretagem e utiliza trado. O trado rotativo também pode receber o nome de broca, o qual é um equipamento composto por uma haste de tudo metálico emendável, e duas laminas curvas desencontradas na ponta, formando assim, um cilindro de duas aberturas. As restrições para o uso dessa estaca são: Profundidade máxima igual a 6 metros e a broca não pode ser executada abaixo do nível da água. A Figura 26 demonstra as características de uma broca de fundação (REBELLO, 2008);



Figura 26: Broca de fundação.

Fonte: Rebello, 2008.

- e) Estaca apiloada: Executada por perfuração, utilizando soquete. É referido também como estaca tipo broca, conforme Figura 27;

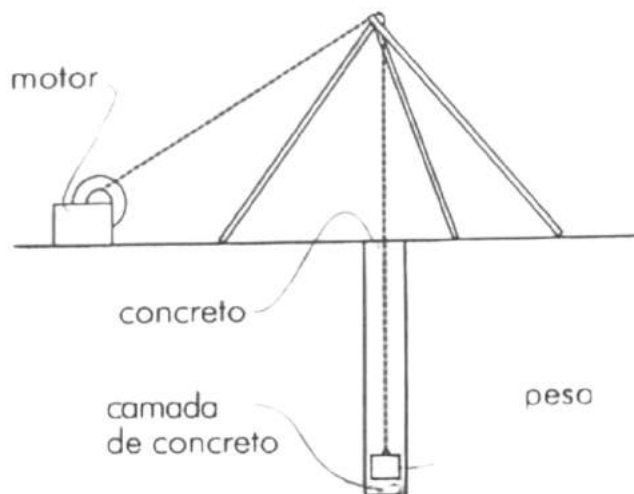


Figura 27: Exemplo de estaca apiloada.

Fonte: Rebello, 2008.

- f) Estaca tipo Strauss: Realiza-se uma perfuração através da piteira (balde sonda), utilizando parcialmente ou totalmente revestimento recuperável e posterior concretagem. A Strauss possui qualidade superior às brocas manuais, possuindo assim, maior capacidade carga. Sua execução é mecânica, o balde ligado a um motor elétrico ou combustão, é lançado de um tripé de aproximadamente 4 metros, e escava com seu próprio peso, após 1 metro, é colocado um furo no tubo de aço de 2 a 3 metros de comprimento, o qual desce em conjunto com a escavação do furo. O tudo pode ser emendado através de rosca. Ao atingir o tamanho necessário, inicia-se a concretagem do furo, o qual é feita acima da cota de projeto da estaca, para que posteriormente, possa ter um melhor acerto dos níveis (REBELLO, 2008); O procedimento de execução da estaca acontece seguindo quatro etapas, começando com a escavação, seguido pela limpeza do furo, concretagem após colocação da armadura e finalização. Conforme Figura 28 (VELLOSO; LOPES, 2010);

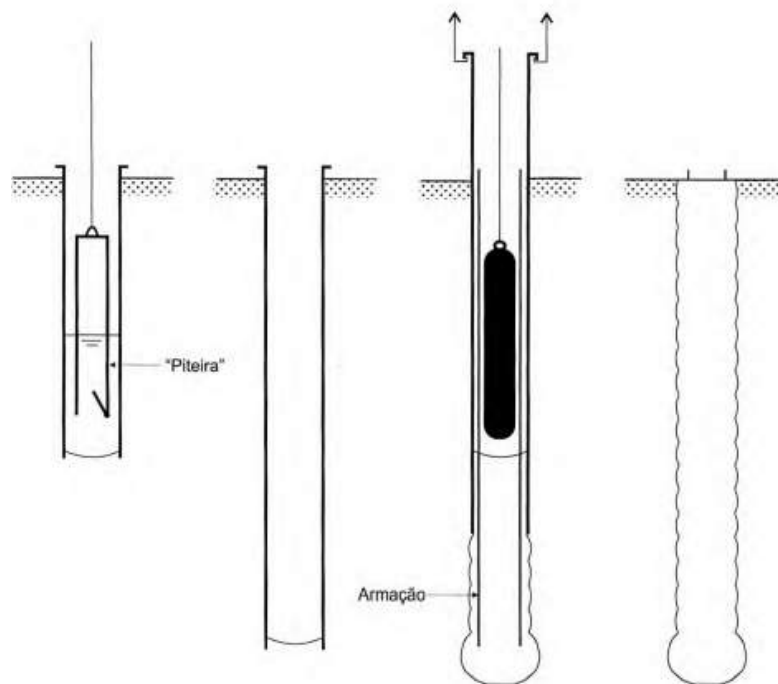


Figura 28: Etapas de execução da estaca Strauss.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

- g) Estaca escavada: Utiliza escavação mecânica, revestida parcialmente ou totalmente, podendo ou não utilizar lama bentonítica, e posterior concretagem. Pode causar descompressão no terreno, o qual vai depender dos tipos de suporte. O primeiro exemplo seriam as estacas escavadas se suporte, com descompressão pronunciada, porém, só pode ocorrer em solos com alguma porcentagem de finos e acima do nível da água. O segundo exemplo são as estacas escavadas com auxílio de camisas metálicas, as quais avançam no mesmo nível que a ferramenta utilizada, reduzindo o alívio. Um equilíbrio entre os dois exemplos, estão as estacas escavadas com auxílio de fluido ou lama bentonítica, conforme Figura 29 (VELLOSO; LOPES, 2010);

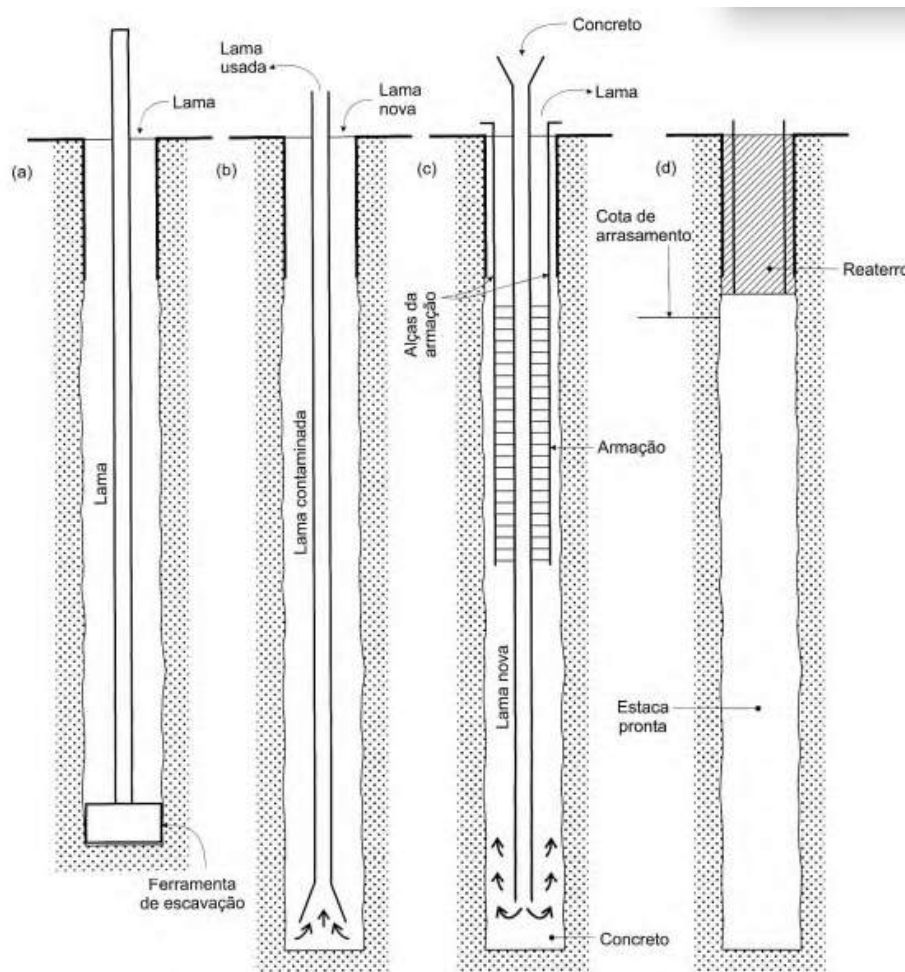


Figura 29: Estaca escavada com fluido estabilizante.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

- h) Estaca tipo Franki: É introduzido no terreno material granular ou concreto, através de golpes de pilão, tornando sua base alargada. Pode ser dividido em dois tipos de execução: (a) Moldagem no terreno com revestimento perdido ou não; (b) Constituído por elemento pré-moldado. Esse tipo é executado mecanicamente, utilizando o equipamento bate-estaca, o qual é usado para a cravação de um tubo metálico. Para ser cravado no solo, tem-se na ponta um elevado volume de concreto seco, denominado bucha, para desenvolver atrito com a parede do tudo (REBELLO, 2008); A execução ocorre com a cravação do tubo, execução da base alargada, colocação da armadura e concretagem do fuste da estaca, segundo Figura 30 (VELLOSO; LOPES, 2010);

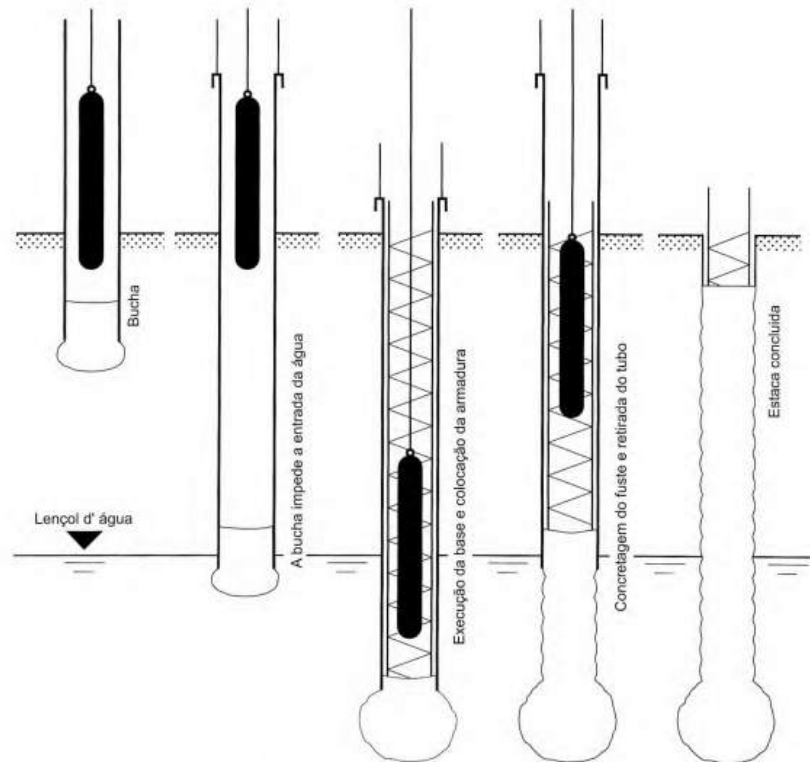


Figura 30: Execução da estaca tipo Franki.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

- i) Estaca mista: Constituída por no máximo dois elementos de materiais diferentes, como: madeira, aço, concreto pré-moldado e concreto moldado *in loco*; A Figura 31 exemplifica uma estaca Franki mista, onde a mesma recebe um elemento pré-fabricado em sua execução.

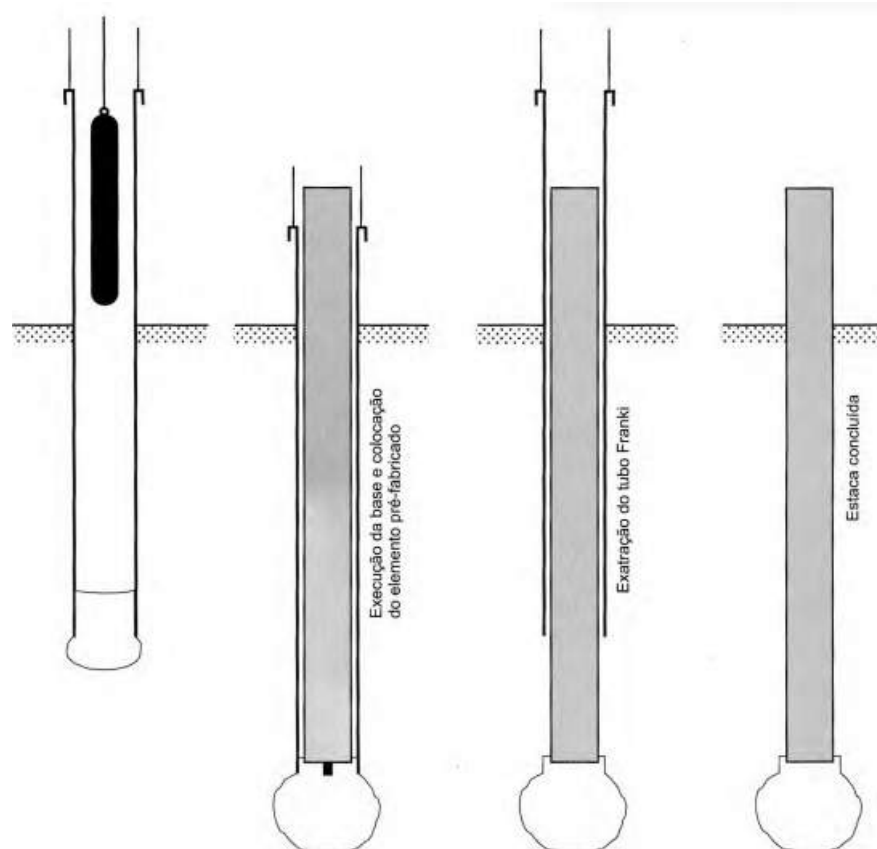


Figura 31: Estaca Franki mista.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

- j) Estaca hélice contínua: Moldada *in loco*, constituída por concreto, e sua execução é feita com trado contínuo, e a injeção de concreto é realizada pela própria haste do trado, pode-se observar na Figura 32. Segundo Rebello (2008), a estaca hélice contínua apresenta alta produtividade e qualidade. Com execução monitorada eletronicamente, possibilita informações sobre inclinação da haste, profundidade de perfuração, toque e velocidade de rotação da hélice, pressão e bombeamento do concreto, assim como consumo e perdas de concreto.

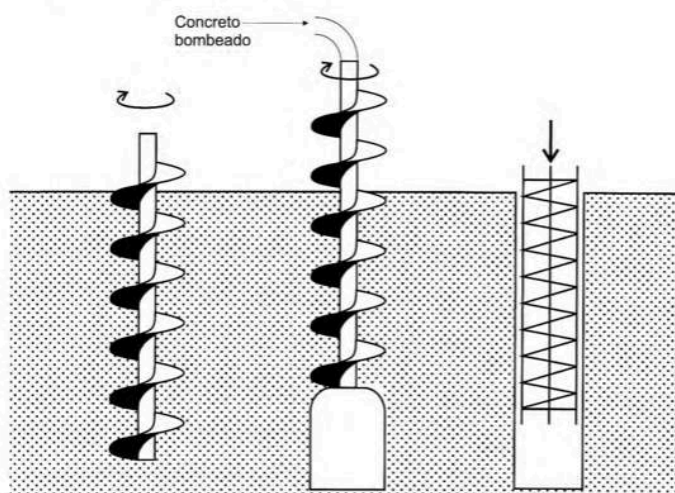


Figura 32: Execução da estaca hélice contínua.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

O uso dessa estaca é considerado recente no Brasil, sendo utilizada pela primeira vez em 1987, e vem apresentando elevado crescimento. Sua extremidade apresenta dentes, os quais facilitam a escavação, e ao alcançar a profundidade desejada, inicia-se a concretagem pelo tubo central ao mesmo tempo em que a hélice é retirada, o que pode acontecer sem ou com lenta rotação no sentido da perfuração (REBELLO, 2008).

A concretagem em conjunto com a retirada do tubo evita o confinamento do solo, o que provocaria estrangulamento da seção da estaca. A armadura é colocada após a concretagem, como também se pode observar na figura 7, é mergulhada no concreto usando somente a gravidade ou auxílio de pilão de pequena carga. O comprimento máximo da estaca hélice contínua é de até 30 metros, e também pode ser executada abaixo do nível da água, e pode ter inclinação de até 14° , não pode ser executada em solos com matacões ou rocha sã (REBELLO, 2008).

Além disso, pode-se dividir a estaca tipo hélice em dois tipos com relação ao deslocamento do solo: (a) Estaca ômega e (b) Estaca Atlas. A ferramenta helicoidal, diferentemente da estaca hélice contínua, penetra no terreno concebendo de maneira que afasta o solo lateralmente na hora em que a ferramenta é introduzida ou extraída. E o trado é projetado para que quando chegar à superfície do terreno, o solo é pressionado para baixo, sem saída de solo. O

processo de execução consiste em: penetração por movimento de rotação, ao atingir profundidade, é penetrado a armadura em todo o comprimento da estaca, enchimento do tubo com concreto plástico, retirada do tubo por movimento de rotação de mesmo sentido na estaca ômega e sentido contrario na estaca atlas, conforme indicado nas Figuras 33 e 34 (VELLOSO; LOPES, 2010).

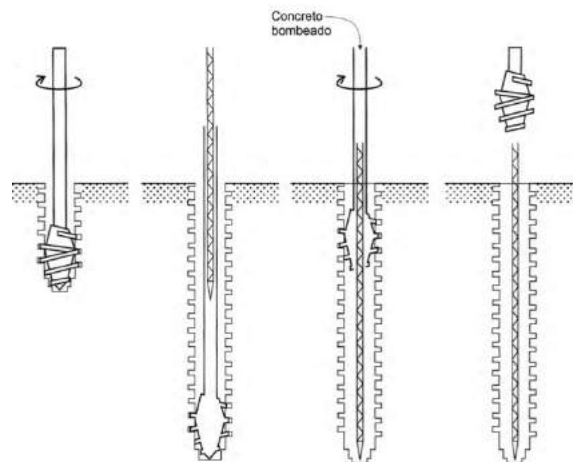


Figura 33: Processo de execução estaca ômega.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

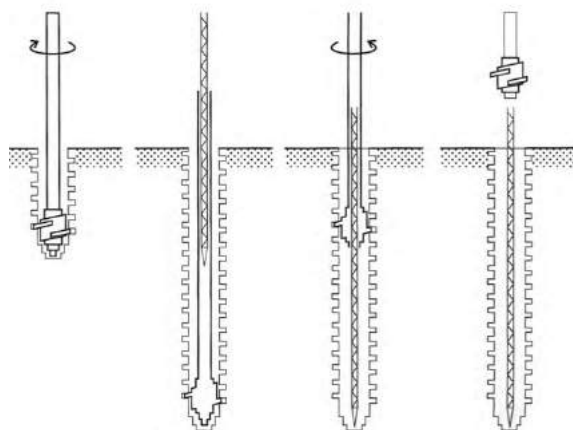


Figura 34: Processo de execução estaca atlas.

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

2.2.2. Tubulão

Baseado na NBR 6122:2019, tubulão possui formato cilíndrico, de aço ou concreto, em que ocorre descida do operário (pelo menos em sua etapa final). Ocorre a céu aberto ou ar comprimido, e sua base pode ou não ser alargada. Executado com ou sem revestimento (perdido ou recuperado). A execução dentro

de um tubulão a ar comprimido deve ter atenção especial, por conta da pressão do local, principalmente com a saúde do operário, portando necessita curtos períodos de trabalho alternado com períodos de descanso. No momento de descompressão ocorre a maioria dos acidentes, portanto exige cuidados especiais (REBELLO, 2008).

2.2.3. Caixaão

Possui forma prismática, concretagem realizada na superfície e instalação por escavação interna. Pode ou não utilizar ar comprimido, e ter a base alargada, conforme NBR 6122:2019.

CAPÍTULO II: ARTIGO CIENTÍFICO

ANÁLISE E INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA PARA ESCOLHA DO TIPO DE FUNDAÇÃO

Camille Pereira de Oliveira^{1}, Flávia Chrysóstomo Silva¹*

RESUMO

A geotecnia é considerada uma área da engenharia civil, que engloba o estudo da mecânica dos solos, rochas, fundações, contenções e estruturas da terra. A análise e investigação do solo são imprescindíveis para uma boa execução, visto que o mesmo trará parâmetros essenciais para a escolha da fundação e conseqüentemente garantirá o bom desempenho do empreendimento. No presente trabalho foi realizada a análise do laudo de sondagem, após a realização de ensaios de SPT fornecidos pela empresa MS-GEO, em um terreno na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ. Foram analisados os parâmetros e os ensaios de resistência do solo para auxiliar na escolha do tipo de fundação. Utilizou-se o Excel para elaboração de tabelas de análise e Autocad como ferramenta de desenho, com o objetivo de criar os perfis de solo e mapeamento dos furos. A partir dos resultados obtidos, foi possível determinar a fundação mais segura para o terreno escolhido.

Palavras-chave: Investigação Geotécnica; Ensaio SPT; Fundação.

GEOTECHNICAL ANALYSIS AND INVESTIGATION TO CHOOSE THE TYPE OF FOUNDATION

Camille Pereira de Oliveira^{1}, Flávia Chrysóstomo Silva¹*

ABSTRACT

Geotechnics is considered an area of civil engineering, which encompasses the study of the mechanics of soils, rocks, foundations, containments and earth structures. The analysis and investigation of the soil are essential for a good execution, since it will bring essential parameters for the choice of foundation and consequently, will guarantee the good performance of the project. In the present research, the analysis of the drilling report was carried out, after performing SPT tests provided by the company MS-GEO, in a plot of land in the city of Campos dos Goytacazes-RJ. Parameters and soil strength tests were analyzed to help choose the type of foundation. Excel was used to prepare analysis tables and Autocad as a design tool, with the objective of creating the soil profiles and holes mapping. From the results obtained, it was possible to determine the safest foundation for the chosen terrain.

Keywords: Soil Investigation; SPT Test; Foundation.

1. INTRODUÇÃO

Ao abordar a geotecnia como uma área da engenharia civil, estuda-se a mecânica dos solos, rocha, fundações e estruturas da terra (DAS; SOBHAN, 2019). Segundo Caputo (1996) um risco nas construções é começar uma obra sem o conhecimento do solo, logo, a partir dos ensaios deve-se determinar a interação entre terreno, fundação e estrutura.

Sendo necessário o conhecimento sobre as condições do solo, pode-se considerar o ensaio de amostragem como fundamental para este conhecimento. O qual tem como objetivo principal a retirada de amostras do solo para análises como natureza do solo, profundidade de leito rochoso, condições de drenagem, lençol freático e relação entre a construção e estruturas próximas (DAS; SOBHAN, 2019). Com isso, pode-se realizar a classificação do solo com base na distribuição granulométrica e a plasticidade. Tendo como base normas vigentes, ao obter o tamanho dos grãos, é possível determinar o tipo de solo presente na amostra (PINTO, 2006).

Os ensaios em laboratório realizados para classificação do solo são granulometria por peneiramento e sedimentação. Também é necessário realizar os ensaios de Casa Grande e Placa Esmerilhada para média a plasticidade e o limite de liquidez do solo.

Com relação à resistência de cisalhamento do solo, utiliza-se o ensaio de cisalhamento direto, como o método mais rápido e simples, o qual gera gráficos que permitem a análise das tensões e das deformações durante o ensaio e na fase de ruptura. O ensaio triaxial também é utilizado para prever o comportamento do solo, nesse tipo de ensaio é possível garantir a saturação completa do solo antes do início do ensaio, bem como medir os parâmetros de poropressão e ter controle absoluto de drenagem, sendo assim, quando é necessária uma maior confiabilidade nos resultados, realiza-se o Ensaio Triaxial para análise e estudo dos parâmetros de resistência do solo. (DAS; SOBHAN, 2019).

Para determinação dos parâmetros em campo, utiliza-se o ensaio de sondagem a percussão (SPT) para a previsão de valores de resistência do solo à

penetração e para traçado do perfil geotécnico do solo. Quando há presença de solos moles, utiliza-se para a prospecção geotécnica o ensaio de cone CPT, auxiliando na determinação estratigráfica de perfis de solo, propriedades dos materiais prospectados, e previsão da capacidade de carga de uma fundação.

Os ensaios geotécnicos realizados em campo e em laboratório são utilizados para caracterizar o solo e obter parâmetros de resistência para o dimensionamento adequado da fundação. A escolha do tipo de fundação depende das características do perfil do solo e podem ser superficiais ou profundas, segundo a NBR 6122:2019. As fundações superficiais são sapata, bloco, radier e grelha. As fundações profundas são estacas, tubulão e caixão.

Sendo assim, para que o tipo de fundação seja determinado corretamente, é necessário realizar uma adequada investigação geotécnica, prevenindo assim, danos estéticos da edificação e garantindo a segurança da estrutura.

1.1 Objetivo geral

Analisar, dentre as características do solo obtidas em um ensaio SPT visando a construção de um edifício de três pavimentos em Campos dos Goytacazes, qual a fundação adequada diante dos parâmetros de caracterização e resistência do solo.

1.1.1 Objetivos específicos

- ✓ Analisar os ensaios de solo e os resultados obtidos em cada um deles;
- ✓ Pesquisar os tipos usuais de fundações superficiais e profundas;
- ✓ Obter um ensaio SPT de um edifício de três pavimentos em Campos dos Goytacazes;
- ✓ Estudar as características do solo analisado;
- ✓ Definir a melhor metodologia executiva de fundação, considerando critérios técnicos e econômicos.

2. METODOLOGIA

Neste trabalho, a metodologia utilizada foi de a análise dos laudos de sondagem realizados em um terreno na cidade de Campos dos Goytacazes. Para isso, foram consultadas literaturas específicas e as normas técnicas ABNT NBR 6122:2019, 6484:2020 e 6502:1995.

Foi apresentado uma argumentação sobre a análise de solo a partir da sondagem SPT, considerando que se trata de um terreno de aproximadamente 1.122 m² e onde será construído um edifício de no máximo três pavimentos.

A NBR 6122:2019 cita a obrigatoriedade do estudo técnico do solo antes da realização de uma construção. Para que, após o conhecimento do subsolo do terreno, determine o tipo de fundação escolhida. A resistência à penetração é baseada na NBR 6484:2020 e para a classificação do solo, utiliza-se a NBR 6502:1995.

E para a demonstração da tipologia do solo tem-se o ensaio SPT, o qual é classificado como a mais econômica forma de investigação geotécnica (MOREIRA et al., 2019). Podendo até mesmo, ser considerado a partida de quaisquer tipos de execução de uma obra, pois o mesmo, possui dados sobre resistência, coloração, nível de água e a classificação das amostras de solo obtidas. Dados os quais são essenciais para o projeto de fundações. A obra reduz o risco de desperdício de materiais, custo do empreendimento e garantindo a eficácia do trabalho. Sendo assim, o desembolso do projeto de sondagem tem um tamanho reduzido se comparado com os possíveis gastos da escolha errada de uma fundação (LOPES; MENDES, 2020).

Com isso, o trabalho se destina a averiguar de que forma a sondagem SPT disponibiliza ao engenheiro, dados fundamentais para projetar e obter uma obra bem-sucedida.

2.1 Localização do furo

O processo de sondagem seguirá a planta de localização dos furos, e de acordo com a NBR 6484:2020, a mesma deve ter referência de nível para o

nivelamento dos pontos de sondagem, caso não possua referência para o mesmo, deve-se adotar uma medida arbitrária fora da localização da obra. O ponto escolhido deve ser marcado com um piquete, com a identificação do ponto a ser executado.

O número de furos é regulamentado na NBR 8036:1983, a qual cita que deve ser realizada uma sondagem para cada 200 m² de área em edificações até 1.200 m², entre 1.200 m² e 24.000 m² deve ser feita uma sondagem para cada 400 m² excedentes dos 1.200 m², e por fim, acima de 24.000 m², fica a critério do responsável, porém, sempre seguindo o mínimo de sondagem, de duas sondagens até 200 m² de área e três sondagens para área entre 200 m² e 400 m².

Rebello (2008) ressaltou que devem ser realizados no mínimo três furos não colineares, com isso a sondagem pode representar maiores possibilidades de análise de solo, visto que o mesmo é heterogêneo e pode variar até mesmo dentro do terreno de estudo. Também citou a distância mínima de 8 metros entre os furos e máxima de 25 metros.

Logo, analisando a Figura 35, com base na norma, os laudos em anexo utilizaram três furos de sondagem para o terreno, visto que, considera-se somente a área a ser construída. Também está de acordo com as distâncias mínimas recomendadas por Rebello (2008).

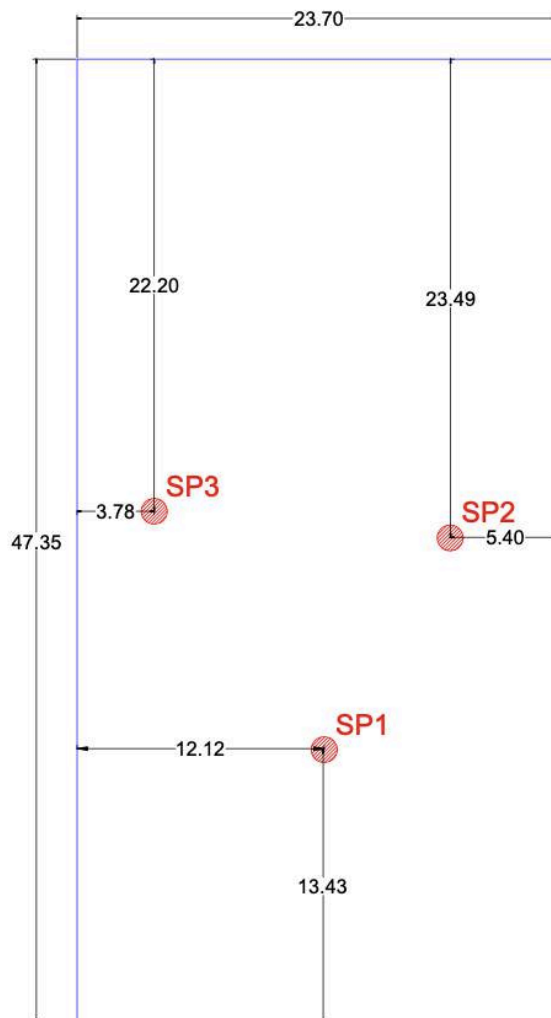


Figura 35: Localização dos furos de sondagem.

Fonte: Acervo próprio.

3. RESULTADOS

3.1 Análise do laudo de sondagem

O ensaio apresentado foi realizado pela empresa MS-GEO Engenharia na cidade de Campos dos Goytacazes/RJ, para a caracterização do solo na área investigada, a qual será analisada para um edifício de três pavimentos.

Conforme citado anteriormente, foram realizados três furos de sondagem denominados SP1 para o primeiro furo, SP2 para o segundo furo e SP3 para o terceiro furo, onde em todos se utilizou o mesmo amostrador padrão de 34,9 mm de diâmetro interno e 50,8 mm de diâmetro externo, os quais obtiveram 10 amostras de solo. Ademais, em quase todos os ensaios obtiveram o nível d'água

de 3,90 metros de profundidade, exceto no SP2 que apresentou com nível d'água de 3,96 m.

Segundo a norma NBR 6484:2020, a cada um metro de profundidade, devem ser colhidas amostras de solo. Após conectar o amostrador padrão e a cabeça de bater, marcam-se na haste 45 centímetros, o qual se divide em três partes iguais de 15 centímetros. Ao atingir os 45 centímetros, o índice de resistência à penetração N é calculado como a soma do número de golpes, para a segunda e terceira etapa de penetração de 15 centímetros. O gráfico do número de golpes, apresentado no laudo do ensaio, está ligado à resistência do solo, visto que, quanto maior o número de golpes, mais resistente o solo é considerado.

De forma geral, o laudo de sondagem possui dados referentes ao número de golpes, número de amostras, perfil das camadas, gráfico de resistência do solo e a classificação das camadas do mesmo.

Nas perfurações realizadas, nota-se a presença do solo caracterizado como argiloso silto-arenosa de consistência mole e média, com profundidade de 7,90 metros e 8,70 metros no furo SP2, o qual é seguido por uma camada de areia fina, medianamente compactada. Para os furos SP1 e SP3, ocorre uma intercalação entre argila silto-arenosa com areia fina.

Os resultados obtidos no SPT1 demonstraram uma predominância da argila silto-arenosa na superfície, de consistência mole e média, com resistência chegando a 6 e 9 números de golpes nos 30 centímetros iniciais e finais respectivamente. A partir de 5,90 metros característica muito mole chegando a receber apenas 2 golpes iniciais e finais, seguido por uma areia fina pouco compacta intermediária para a argila silto-arenosa de consistência rija e elevada resistência.

O furo SP2 possui nível d'água 6 centímetros mais profundo e a característica do solo mais distinta, inicia-se com uma baixa resistência na argila silto-arenosa de consistência mole a média, e aumentando sua resistência a partir de 8,70 metros, onde se encontra areia medianamente compactada.

O SP3 tem características semelhantes ao SP1, com uma camada de argila silto-arenosa de consistência mole à média de 7,90 metros, seguido por areia fina mediamente compacta e seguida por argila silto-arenosa de consistência roxa. Vale ressaltar, que entre 3,50 e 7,90 metros, tem-se baixa presença de matéria orgânica, com presença de turfa, mica, de consistência média à mole, justificando assim, a baixa resistência chegando a 2 e 3 golpes nos 30 centímetros iniciais e finais respectivamente.

O ensaio foi finalizado quando atingiu a profundidade de 10,45 metros de profundidade, e de acordo com a NBR 6484:2020. Com isso, na Figura 36 é possível identificar em corte de vista frontal, o tipo de solo com suas cotas, posição do nível de água e a visão geral da variabilidade do terreno.

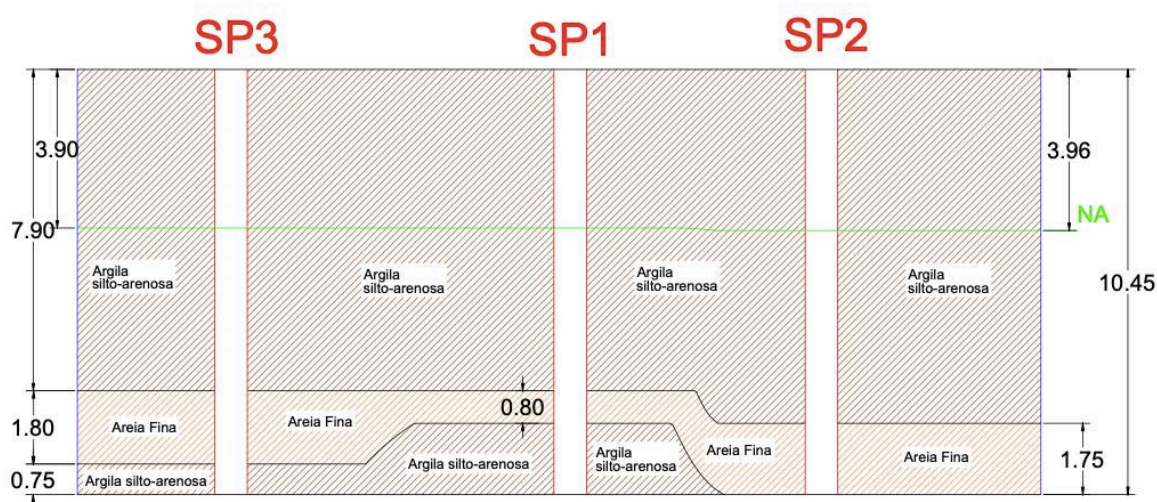


Figura 36: Análise do perfil estratigráfico.

Fonte: Acervo próprio.

A partir dos resultados obtidos nos laudos de sondagem SPT no terreno em Campos dos Goytacazes, foi possível concluir através da investigação geotécnica que o solo desse terreno é argiloso e apresentou boa resistência em cotas mais superficiais.

3.2 Escolha da fundação

É sabido que o conhecimento do solo propiciado pela sondagem é um pré-requisito para a escolha da fundação, então, pode-se dar sequência para a escolha da mesma (REBELLO, 2008).

O ensaio de campo realizado permite a descoberta da tensão admissível, de acordo com as diferenças de solo encontradas. Porém, os métodos, dispersões e aplicações devem ser observados (THIESEN, 2016).

Segundo a NBR 6122:2019, algumas ações devem ser consideradas antes da escolha da fundação adequada, como: as ações provenientes da superestrutura, incluindo ações permanentes, variáveis e excepcionais; Ações decorrentes do terreno, por exemplo, empuxos da terra; Ações decorrentes da presença de água superficial ou subterrânea; Ações variáveis especiais, como carregamentos especiais na edificação; Interação fundação e estrutura; Ações do próprio peso das fundações; Alívio de cargas devido a vigas alavanca e o atrito negativo, podendo ser realizado até ensaios e provas de carga para melhor avaliação.

3.2.1 Fundações superficiais

Para esse tipo de fundação, as cargas da edificação são suportadas nas primeiras camadas do solo, sendo assim, o solo deve possuir boa resistência nessas camadas. Tal fundação torna-se prática e econômica quando o número de golpes do SPT for maior ou igual a oito, com profundidade máxima de dois metros. Números que representam a resistência mínima necessária do solo e o custo de escavação e reaterro (REBELLO, 2008). A mesma pode ser realizada abaixo do nível d'água, porém, por conta do custo não é recomendável.

Ao ocorrer uma grande redução no SPT ao longo da profundidade, deve-se estudar as influências em camadas mais profundas (REBELLO, 2008).

Outro fator a ser analisado, é o bulbo de tensões da sapata, representada por “z” na Figura 37.

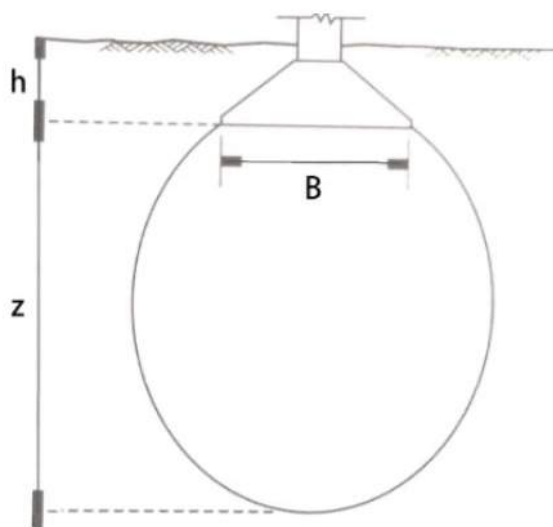


Figura 37: Bulbo de tensões da sapata.

Fonte: Thiesen, 2016.

Ademais, pode-se considerar os valores a do Quadro 2 para determinar a relação entre a forma da sapata e a profundidade do bulbo de tensões a ser obtida.

Quadro 2: Relação entre a sapata e o bulbo de tensões.

Geometria da base da sapata	Profundidade do bulbo de tensões (z)
Sapata circular ou quadrada ($L = B$)	2B
Sapata retangular ($2B \leq L \leq 4B$)	3B
Sapata corrida ($L \geq 5B$)	4B

Fonte: Thiesen apud Cintra, Aoki e Albiero, 2016.

Visto que, a tensão admissível de uma fundação superficial é o resultado da tensão que a mesma aplica no solo, sem provocar recalques.

3.2.2 Fundações profundas

Quando existem fatores que limitam o uso da fundação superficial, como o número de golpes maior ou igual a oito ou com profundidade maior que dois

metros, utiliza-se a fundação profunda (REBELLO, 2008). Ou qualquer outro tipo de limitação que torne a fundação profunda economicamente mais proveitosa.

4. DISCUSSÃO

De acordo com o ensaio de solo analisado, podem-se obter características importantes na determinação da escolha do tipo de fundação. Além disso, ter o parâmetro dos tipos usuais de fundações superficiais e profundas foi essencial para a comparação dos meios mais viáveis.

Nos anexos pode-se observar que o SPT maior que oito encontra-se acima de dois metros e o nível d'água está dentro do adequado, viabilizando a fundação superficial. Os estudos também analisaram e concluíram que solo possui capacidade de resistência para receber esse tipo de fundação.

Dentre as fundações superficiais, pode-se diferenciá-las de acordo com suas características e formas de utilização. A partir da análise da NBR 6122:2019, podem-se concluir vantagens e desvantagens:

- a) Os blocos de fundação não necessitam de armadura em seu dimensionamento, e por conta da dimensão do bloco, o mesmo é resistido pelo concreto. Trazendo assim, economia na não necessidade de compra de barra de aço e rapidez de execução.

Apesar de não ter impedimento para o uso em decorrência de valores de carga, para números elevados, pode-se precisar de escavações profundas, podendo atingir o nível d'água e exigir volume elevado de concreto (VELLOSO; LOPES, 2010);

- b) Para a sapata isolada, tem-se a necessidade de armadura, além de ressaltar a importância da análise do terreno e da distribuição dos pilares, para verificar a possível necessidade da viga de fundação. Mas, as mesmas são de rápida execução e não necessitam de máquinas e equipamentos por conta da pouca necessidade de escavação. Com um bom dimensionamento, podem ser usadas em diferentes circunstâncias possibilidade de altura constante ou variável, e suas diferentes formas,

podem trazer uma economia considerável de concreto (VELLOSO; LOPES, 2010). Para casos específicos, tem-se a sapata corrida e sapata em divisa, e sapata associada, podendo solucionar problemas no limite do terreno ou alinhamento de pilares;

- c) Em situações onde ocorre um alinhamento de diversos pilares, utiliza-se a viga de fundação como solução. Porém, esse tipo de fundação só é recomendado nessas circunstâncias (VELLOSO; LOPES, 2010);

O radier pode ser utilizado em solos muito resistentes ou frágeis, e comporta-se melhor em solos com SPT maior que quatro. Recomenda-se para habitações onde a alvenaria é apoiada diretamente sobre o radier, não apresentando vigamentos. Comparado à sapata, é economicamente viável quando a soma das áreas das sapatas se tornam superiores à metade da área projetada do edifício (REBELLO, 2008).

Os ensaios demonstraram a heterogeneidade do solo e a forma com que pode interferir na edificação. Analisou-se cada tipo de fundação de acordo com suas especificações segundo as normas analisadas e literaturas.

Com o objetivo de realizar um projeto de fundação superficial econômico e seguro, foi realizado o ensaio de sondagem SPT, e assim, chegou-se ao resultado de que a sapata isolada é a melhor solução.

5. CONCLUSÕES

Independentemente do tipo de construção a ser realizada, é indispensável a análise e investigação do solo.

Para isso, o ensaio SPT é o mais recomendado por ser o método mais econômico e prático. Trazendo como resultado dados essenciais, facilitando para o engenheiro responsável a análise do solo, e assim, a escolha do melhor tipo de fundação.

Conforme estudado, a sapata isolada é uma excelente opção para redução de custos, visto que o consumo de concreto é reduzido consideravelmente por

conta da possibilidade de altura e diferentes formas, com isso, a partir de um bom dimensionamento, são projetadas para atender o tipo de carga gerado, evitando o desperdício no superdimensionamento.

A falta do estudo do solo poderia resultar na escolha inadequada trazendo danos estruturais à edificação, ou trazendo prejuízos econômicos. Vale ressaltar que as obras de reparo de fundação são trabalhosas e possuem custos altos, demonstrando assim, a importância do estudo prévio.

Conclui-se que, neste trabalho, foram descritas as características do solo e a importância do estudo do mesmo para a boa execução da obra. Com o ensaio SPT, podem-se analisar suas características técnicas e motivos que podem causar erro na interpretação dos resultados, como o número de furos no terreno por conta da heterogeneidade do solo.

Segundo a NBR 6122:2019, métodos que relacionam resultados com tensões admissíveis ou resistentes, exigem atenção aos domínios de validade de aplicações, ou com as dispersões dos dados, limitações regionais e erros de mão de obra no ensaio. Assim sendo, para futuros trabalhos, a análise das possíveis consequências de erros ou ausência dos ensaios de campo nas edificações.

6. REFERÊNCIAS

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: Rochas e Solo – Terminologia. Rio de Janeiro. 1995.

CAMPOS DOS GOYTACAZES. MS-GEO Engenharia, 2020.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 234p.

DAS, B.; SOBHAN, K. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 9.ed. São Paulo: CENGAGE, 2019. 688p.

LOPES, L.; MENDES, L. **Análise de solo por meio de sondagem SPT: Estudo de caso de uma residência de dois pavimentos em ambiente urbano**. FEPESMIG, 2020. p.1.

MOREIRA, A. R. C. et al. Investigação Geotécnica do Solo do Centro Urbano de Santarém-PA pelo Ensaio de Penetração Padrão (SPT). In: SEMANA OFICIAL DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 76., 2019, Palmas. **Anais**. Palmas: CONTECC, 2019.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3.ed. São Paulo: Oficina de textos, 2006. 367p.

REBELLO, Y. **Fundações**: guia prático de projeto, execução e dimensionamento. 4.ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2008. 238p.

THIESEN, S. **Aplicação de ferramenta SIG para mapeamento geotécnico e cartas de aptidão para fundação a partir de ensaios SPT: Um estudo de caso em Blumenau/SC**. 2016. 207 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.


VELLOSO, D.; LOPES, F. **Fundações**: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 568p.

CAPÍTULO III: REFERÊNCIAS

- ANÁLISE granulométrica do solo. Guia da Engenharia, 7 maio. 2020. Disponível em: <<http://www.guiadaengenharia.com>>. Acesso em: 22 jun. 2021
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12967: Geossintéticos — Determinação das características de atrito. Rio de Janeiro. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10905: Solo – Ensaio de palheta *in situ*. Rio de Janeiro. 2019.
- CAMPOS DOS GOYTACAZES. Riscado Engenharia, 2013.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 234p.
- DAS, B.; SOBHAN, K. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 9.ed. São Paulo: CENGAGE, 2019. 688p.
- ODEBRECHT, F. S. E. **Ensaio de campo**. 2.ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012. 254p.
- PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3.ed. São Paulo: Oficina de textos, 2006. 367p.
- REBELLO, Y. **Fundações**: guia prático de projeto, execução e dimensionamento. 4.ed. São Paulo: Ziguarte Editora, 2008. 238p.
- REVISTA TÉCHNE. São Paulo: Pini, Ed. 83, n. 83, fev. 2004.
- TERZARGHI, K.; PECK, R.B. **Soil Mechanics in Engineering Practice**. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 1967. 512p.
- VELLOSO, D.; LOPES, F. **Fundações**: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 568p.

ANEXO 1: LAUDO DE SONDAGEM SP1

Construções e Sondagens Ltda

Cliente:						Furo N°	SP I		
Obra:						Sondador	Ramon		
Nível d'água:						Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm	Data		
3,90m						- Diâmetro Externo 50,8mm	03/11/2020		
						Revestimento	2 1/2" - 4,00m		
Amostras	Perfil das Camadas	Penetração			30cm Iniciais	30cm Finais	Gráfico de Números de Golpes	Mudança das Camadas	Classificação Tátil Visual dos Solos
		N° de Golpes/15cm							
0									
1		1	2	3	3	5	1		Camada intercalada de argila siltosa, com areia fina quartzosa, mica, de cor variegada, de consistência mole e média, (SEDIMENTOS QUARTENÁRIOS, /FLUVIAL), CAULINÍTIOS.
2		2	3	2	5	5	2		
3		2	3	5	5	8	3		
4		2	4	5	6	9	4		
5		2	2	2	4	4	5		
6		2	1	1	3	2	6	5,60	
7		1	1	1	2	2	7		
8		2	3	3	5	6	8	7,90	
9		4	5	7	9	12	9	8,70	
10		5	7	8	12	15	10	10,45	
11								Limite da Sondagem.	
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									

GRÁFICO

N° Golpes/30cm iniciais
 N° Golpes/30cm finais


Obs.:


 MS-GEO ENGENHARIA
 Diretor

Página 2

ANEXO 2: LAUDO DE SONDAGEM SP2

Construções e Sondagens Ltda

Cliente:						Furo N°	SP 2		
Obra:						Sondador	Ramon		
Nível d'água:						Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm	Data		
3,96m						- Diâmetro Externo 50,8mm	03/11/2020		
Amostras	Perfil das Camadas	Penetração			30cm		Gráfico de Números de Golpes	Mudança das Camadas	Classificação Tátil Visual dos Solos
		N° de Golpes/15cm			iniciais	finais			
0							0		
1		1	1	2	2	3	1		
2		1	2	2	3	4	2		
3		2	3	6	5	9	3		
4		2	3	5	5	8	4		
5		1	3	5	4	8	5		
6		2	3	6	5	9	6		
7		3	3	5	6	8	7		
8		2	3	4	5	7	8		
9		3	5	6	8	11	9		
10		5	8	9	13	17	10		
11									8,70
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									


8,70
Camada intercalada de argila siltosa, com areia fina quartzosa, mica, de cor variegada, de consistência mole à média, (SEDIMENTOS QUARTENÁRIOS, /FLUVIAL), CAULINÍTIÇOS.

10,45
Areia fina à grossa quartzosa, pouco siltosa, com mica, de cor cinza clara, medianamente compacta, (SEDIMENTOS QUARTENÁRIOS, LITORÂNEOS/FLUVIAL).

Limite da Sondagem.

GRÁFICO
N° Golpes/30cm iniciais ———
N° Golpes/30cm finais ———

Obs.:


MS-GEO ENGENHARIA
Diretor

ANEXO 3: LAUDO DE SONDAGEM SP3

Construções e Sondagens Ltda						Furo N°	SP 3	
Cliente:						Sondador	Ramon	
Obra:						Data	Revestimento	
Nível d'água:						Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm	03/11/2020	
3,90m						- Diâmetro Externo 50,8mm	2 1/2" - 4,00m	
Anotações	Perfil das Camadas	Penetração		30cm iniciais	30cm finais	Gráfico de Números de Golpes	Mudança das Camadas	Classificação Tátil Visual dos Solos
		N° de Golpes/15cm	N° de Golpes/15cm					
0								
1		1	2	3	3			Camada intercalada de argila siltosa, com areia fina quartzosa, mica, de cor variegada, de consistência mole à média, (SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS, /FLUVIAL), CAULINÍTIÇOS.
2		1	2	3	4			
3		2	4	6	9			
4		2	2	4	5		3,50	
5		1	2	3	4			Argila siltosa, com areia fina quartzosa, baixa presença de matéria orgânica, com pontos de turfa, mica, de cor cinza escura e preta, de consistência média à mole, (SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS, LITORÂNEOS/FLUVIAL).
6		1	1	2	3			
7		2	2	4	4			
8		3	4	7	9		7,90	
9		3	5	8	12			Areia fina à grossa quartzosa, pouco siltosa, com pedregulhos, mica, de cor cinza clara, medianamente compacta, (SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS, LITORÂNEOS/FLUVIAL).
10		3	6	9	15		9,70	
11							10,45	argila siltosa, com areia fina quartzosa, mica, de cor variegada, de consistência rija, (SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS, /FLUVIAL).
12								Limite da Sondagem.
13								
14								
15								
16								
17								
18								

GRÁFICO

N° Golpes/30cm iniciais

N° Golpes/30cm finais

Obs.:

MS-GEO ENGENHARIA
Diretor

Página 4