

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Marcos Sonego Morgental

**ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFIS DE SONDAÇÃO SPT COM
CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS EM ENSAIOS LABORATORIAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Santa Maria, RS, Brasil

2017

Marcos Sonego Morgental

**ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFIS DE SONDAÇÃO SPT COM
CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS EM ENSAIOS LABORATORIAS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Santa Maria
(UFSM), com requisito parcial para obtenção
do grau de **Engenheiro Civil**

Orientador: Prof. Dr. Magnos Baroni

Santa Maria, RS, Brasil

2017

Marcos Sonego Morgental

**ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFIS DE SONDAÇÃO SPT COM
CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS EM ENSAIOS LABORATORIAS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Santa Maria
(UFSM), com requisito parcial para obtenção
do grau de **Engenheiro Civil**

Aprovado em 20 de dezembro de 2017:

Magnos Baroni, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Ildomar Schneider Tavares, Me. (UNIPAMPA)

Eng. Felipe Peranzoni Parcianello

Santa Maria, RS, Brasil

2017

Dedico este trabalho aos meus pais, Claudio Roberto Morgental e Jurema Sonogo Morgental, sem os quais eu não teria alcançado este objetivo.

RESUMO

ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFIS DE SONDAGEM SPT COM CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS EM ENSAIOS LABORATORIAS

AUTOR: MARCOS SONEGO MORGENTAL

ORIENTADOR: Prof. Dr. MAGNOS BARONI

A presente pesquisa fundamenta-se em um comparativo entre o ensaio SPT (ensaio de campo), com ensaios realizados em laboratório, buscando minimizar possíveis diferenças de resultados. Para o desenvolvimento do estudo foram utilizadas amostras de 3 ensaios SPT, os quais foram realizados no complexo Espírito Santo, localizado na cidade de Santa Maria – RS.

As amostras foram devidamente acondicionadas em embalagens plásticas para que a umidade presente nelas não evaporasse e levadas para o Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Maria, onde de acordo com suas respectivas normas, foram realizados os seguintes ensaios: determinação da umidade natural do solo, determinação da umidade higroscópica, caracterização da granulometria através do ensaio de sedimentação e peneiramento, determinação da massa específica real dos grãos.

Apesar dos ensaios de laboratórios estarem previstos na NBR 6484 (2001) – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio ao que indica foram realizados apenas exames tátil-visual pela empresa contratada, pois apesar do solo apresentar comportamento de solos finos (argila e silte), verificou-se que através dos ensaios realizados em laboratório que em sua granulometria existe a predominância areia fina.

Palavras-chave: ensaio SPT, ensaio de caracterização

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ensaio de uso corrente na pratica brasileira	14
Figura 2 - Aplicabilidade e uso de ensaios in situ.....	15
Figura 3 - Conjunto tripé	18
Figura 4 - Amostrador-padrão	19
Figura 5 - Perfil típico de uma sondagem de simples reconhecimento.....	21
Figura 6 - Exemplo de curva de distribuição granulométrica do solo	25
Figura 7 - Limites de Atterberg do solo	27
Figura 8 - Gráfico do número de golpes x umidade para determinação do LL.....	27
Figura 9 - Mapa Geológico da folha de Santa Maria	37
Figura 10 - Carta das Unidades Geotécnicas de Santa Maria Digitalizada.....	39
Figura 11 - Amostra do ensaio SPT devidamente acondicionada	41
Figura 12 - Desmanche dos torrões	44
Figura 13 - Aparelho de dispersão.....	45
Figura 14 – Proveta.....	46
Figura 15 - Conjunto de peneiras.....	47
Figura 16 - Solo retirado da sondagem 01	53
Figura 17 - Resultado da Sondagem do ensaio SPT1	54
Figura 18 - Resultados da Sondagem do ensaio SPT2	55
Figura 19 - Resultados da Sondagem do ensaio SPT3	56
Figura 20 - Gráfico da umidade natural das amostras.....	57
Figura 21 - Curva Granulométrica da amostra SPT1 – 1m.....	59
Figura 22 - Curva Granulométrica da amostra SPT1 – 2m.....	60
Figura 23 - Curva Granulométrica da amostra SPT1 – 3m/1	63
Figura 24 - Curva Granulométrica da amostra SPT2 – 2m.....	65
Figura 25 - Curva Granulométrica da amostra SPT2 – 3m/2	66
Figura 26 - Curva Granulométrica da amostra SPT2 – 3m/1	68
Figura 27 - Curva Granulométrica da amostra SPT2 – 4m.....	69
Figura 28 - Curva Granulométrica da amostra SPT3 – 1m.....	71
Figura 29 - Curva Granulométrica da amostra SPT3 – 2m.....	72
Figura 30 - Curva Granulométrica da amostra SPT3 – 3m.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Compacidade das areias em função do SPT	20
Tabela 2 - Consistências das argilas em função do SPT	20
Tabela 3 - Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos	24
Tabela 4 - Terminologia do Sistema Unificado	29
Tabela 5 - Massa específica da água, em g/cm ³	52
Tabela 6 - Umidade natural das amostras retiradas do ensaio SPT	57
Tabela 7 - Massa Específica Real da amostra SPT1 – 1m	58
Tabela 8 - Massa específica Real da amostra SPT1 – 2m	60
Tabela 9 - Massa Específica Real da amostra SPT1 – 3m/2	61
Tabela 10 – Massa Específica Real da amostra SPT1 – 3m/1	63
Tabela 11 – Massa Específica Real da amostra SPT2 – 2m	64
Tabela 12 - Massa Específica Real da amostra SPT2 – 3m/2	66
Tabela 13 - Massa Específica Real da amostra SPT2 – 3m/1	67
Tabela 14 - Massa Específica Real da amostra SPT2 – 4m	69
Tabela 15 - Massa Específica Real da amostra SPT3 – 1m	70
Tabela 16 - Massa Específica Real da amostra SPT3 – 2m	72
Tabela 17 - Massa Específica Real da amostra SPT3 – 3m	73
Tabela 18 - Comparativo dos resultados encontrados	75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVA	10
1.2 OBJETIVO GERAL	11
1.2.1 Objetivos Específicos	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA	12
2.1.1 Custos e risco	12
2.1.2 Programa de investigação	13
2.2 MÉTODOS DE INTERPRETAÇÃO DE ENSAIOS	16
2.2.1 <i>Standard Penetration Test - SPT</i>	16
2.2.1.1 Equipamentos	17
2.2.1.2 Procedimentos	19
2.2.1.3 Apresentação de resultados	20
2.2.1.4 Fatores que Afetam o SPT	22
2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	22
2.3.1 Caracterização de solos	22
2.3.2 Sistemas de classificação	28
2.3.2.1 Classificação unificada	29
2.3.2.2 Classificação dos solos pela origem	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 COMPLEXO ESPIRÍTO SANTO	35
3.2 GEOLOGIA LOCAL	35
3.3 ENSAIO SPT	40
3.4 ENSAIOS EM LABORATÓRIO	42
3.4.1 Umidade Natural do solo	42
3.4.2 Ensaio de Sedimentação	44
3.4.3 Umidade higroscópica	50
3.4.4 Massa específica real	51
4 RESULTADOS	53
4.1 ENSAIO SPT	53
4.1.1 Sondagem STP1	53
4.1.2 Sondagem SPT2	55
4.1.3 Sondagem SPT3	56
4.2 ENSAIOS REALIZADOS NO LABORATÓRIO	57
4.2.1 Ensaio SPT1 – 1m	58
4.2.2 Ensaio SPT1 – 2 m	59
4.2.3 Ensaio SPT1 - 3m/2	61
4.2.4 Ensaio SPT1 – 3m/1	62
4.2.5 Ensaio SPT2 – 2m	64
4.2.6 Ensaio SPT2 – 3m/2	65
4.2.7 Ensaio SPT2 – 3m/1	67
4.2.8 Ensaio SPT2 – 4m	68
4.2.9 Ensaio SPT3 – 1m	70
4.2.10 Ensaio SPT3 – 2m	71
4.2.11 Ensaio SPT3 – 3m	73

5 CONCLUSÃO	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO	79

1 INTRODUÇÃO

Na área da engenharia geotécnica, dando ênfase ao ensaio SPT, o qual é comumente utilizado no país pelo fato de ser de baixo custo e fácil manejo, por outro lado é um ensaio onde pode ocorrer inúmeras variações que vão desde desgaste do equipamento utilizado para a realização do ensaio; falta de conhecimento técnico pelos operadores; desgaste físico, por ser um ensaio que envolve a utilização de muita energia dos operadores; vícios executivos a fim de manipular o número de golpes buscando o fim do ensaio.

Como o comportamento dos solos depende da trajetória de tensões e do nível de deformação a qual são submetidos, na teoria o ensaio de campo ideal deveria impor essa trajetória de maneira uniforme em toda a massa envolvida no processo, nem o SPT nem outros ensaios de campo conseguem satisfazer completamente essas condições. Na rotina, os engenheiros buscam utilizar ensaios que efetivamente funcionem em quase todas as condições de subsolo e determinem índices ou indicadores que não podem ser obtidos de forma mais econômica ou simples por outros processos.

Em virtude disso, o presente trabalho buscou analisar os resultados obtidos por meio do ensaio SPT em conjunto com a caracterização dos materiais através de ensaios de laboratório para a determinação do teor de umidade, da massa específica real dos grãos, e da granulometria.

1.1 JUSTIFICATIVA

Nem o equipamento utilizado, como também os procedimentos de escavação são completamente padronizados a um nível internacional no ensaio SPT, contudo ele é um ensaio altamente difundido no Brasil, e com a oportunidade do acompanhamento da realização dos procedimentos in situ, surgiu a ideia de retirar amostras do ensaio para realização de ensaios de laboratório, com o objetivo de verificar o grau de confiabilidade do laudo apresentado.

1.2 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho buscou comparar os resultados obtidos em campo através do ensaio SPT com os resultados obtidos em laboratório.

1.2.1 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal, este trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- Acompanhar a realização do ensaio STP e retirar amostras para os ensaios em laboratório;
- Determinar a umidade natural das amostras;
- Determinar a umidade higroscópica das amostras;
- Realizar os ensaios de caracterização;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Para o reconhecimento dos perfis dos solos e suas respectivas características geotécnicas são utilizados ensaios in situ e laboratoriais em amostras deformadas e indeformadas de solos. Um exemplo disso é a realização de sondagens de simples reconhecimento, SPT, que através de descrições e índices obtidos para as diversas camadas presentes no solo, determinam a variação de resistência do solo com a profundidade. No momento que em a investigação geotécnica não é realizada ou tem seus dados mal interpretados, os projetos podem ser inadequados, gerando aumento de custos, problemas ambientais ou patologias estruturais.

2.1.1 Custos e risco

Para Schnaid e Odebrecht (2012) os custos com a realização de uma investigação geotécnica no Brasil gira em torno de 0,2 a 0,5% do custo total de uma obra considerada convencional, podendo esse custo aumentar no momento que for ser executada alguma obra em região de condições adversas de solo ou em obras especiais. De acordo com os autores as informações obtidas através de investigações geotécnicas são indispensáveis para previsão de custos fixos associados ao projeto e sua solução.

No contexto relacionado aos riscos, salienta-se que “[...] aspectos relacionados à investigação das características do subsolo são as causas mais frequentes de problemas de fundações.” (Milititsky; Consoli; Schnaid, 2006 apud SCHNAID E ODEBRECHT, 2012, p.13). Schnaid e Odebrecht (2012) relatam que a experiência internacional mostra que o conhecimento geotécnico e o controle de execução são de fundamental importância para ser satisfeito requisitos fundamentais de um projeto.

De acordo com o US Army Corps of Engineers, 2001 apud Schnaid e Odebrecht 2012, p.14.

Investigação geotécnica insuficiente e interpretação inadequada de resultados contribuem para erros de projeto, atrasos no cronograma

executivo, custos associados a alterações construtivas, necessidade de jazidas adicionais para materiais de empréstimo, impactos ambientais, gastos em remediação pós-construtiva, além do risco de colapso da estrutura e litígio subsequente.

Conforme supracitado, é de suma importância caracterizar o subsolo afim de determinar suas características geológicas, geotécnicas e geomorfológicas.

2.1.2 Programa de investigação

Para determinar qual estratégia será adotada em determinado projeto, segundo Schnaid e Odebrecht (2012) fatores tais como, características ao meio físico, a complexidade da obra e os riscos envolvidos devem ser levados em consideração. A caracterização geotécnica deve ser precedida de uma classificação preliminar da estrutura, que de acordo com o Eurocode (1997 apud Schnaid e Odebrecht 2012, p.14) são,

Categoria I: estruturas simples e de pequeno porte, nas quais o projeto é baseado em experiência e investigação geotécnica qualitativa.

Categoria II: estruturas convencionais que não envolvem riscos excepcionais, em condições geotécnicas normais e cargas dentro de padrões conhecidos.

Categoria III: estruturas que não pertencem às categorias I e II, incluindo estruturas de grande porte associadas a risco elevado, dificuldades geotécnicas excepcionais, cargas elevadas e eventos sísmicos, entre outros fatores.

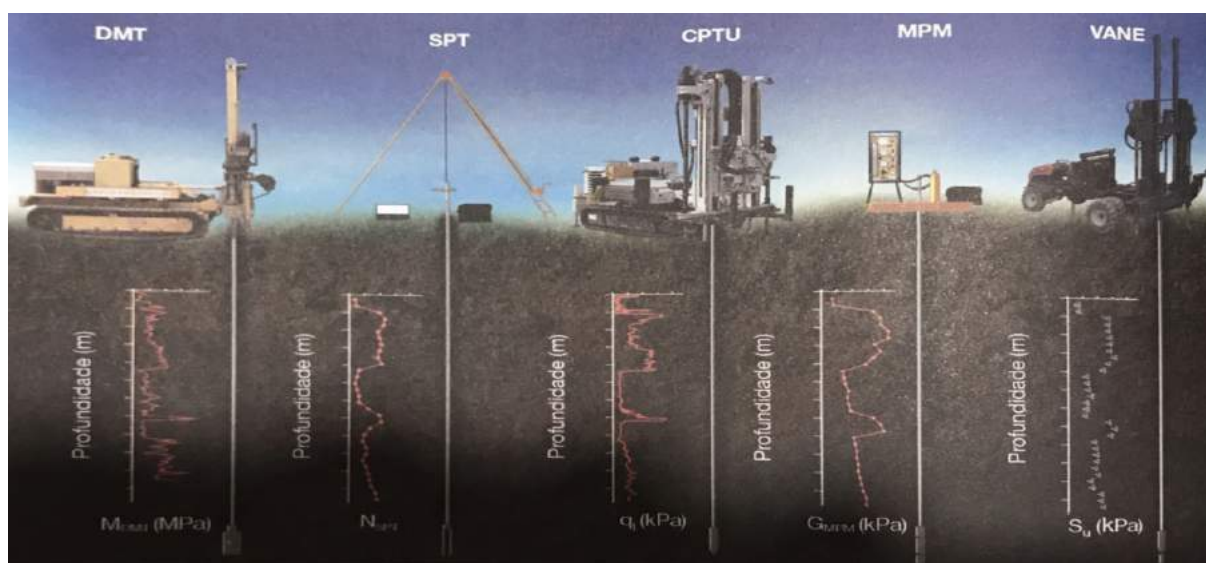
Segundo Schnaid e Odebrecht (2012) um engenheiro geotécnico experiente, ou seja, um engenheiro que tenha familiaridade com equipamentos, saiba usar as técnicas e procedimentos de ensaios correto, deve ser responsável pela investigação geotécnica para que os custos e as características de uma obra baseadas nas complexidades geológica e geotécnica do local a ser construído o empreendimento estejam interligados de maneira equilibrada. Segundo Schnaid e Odebrecht (2012, p.15),

No que se refere à complexidade da obra, consideram-se aspectos como: tamanho, cargas, topografia, escavações, rebaixamento do lençol freático, obras vinhas, canalizações etc. Aspectos geológico-geotécnicos referem-se à gênese do solo; geomorfologia; sismicidade; presença de solo moles, colapsíveis ou expansivos; ocorrência de substâncias agressivas, cavidades subterrâneas, entre outros fatores.

De acordo com Gerscovish *et al.* (2016) as investigações geotécnicas buscam o conhecimento da estratigrafia do local, para que seja possível montar um perfil geotécnico que posteriormente será utilizado para análises de estabilidades, como também, identificação de parâmetros geotécnicos, que podem ser definidos através de ensaios de campo e/ou laboratório.

Schnaid e Odebrecht (2012) informam que qualquer que seja a abordagem utilizada para execução de projetos geotécnicos o uso de ensaios de campo, os quais apresentam medidas que permitam definir a estratigrafia do subsolo e uma estimativa realista das propriedades dos materiais. Conforme a Figura 1, existem diversas maneiras de realizar ensaios de campo que vão da simples cravação de um elemento no solo, como também modernos sistemas onde através de sensores elétricos é possível medir grandezas como força e poropressão.

Figura 1 - Ensaios de uso corrente na pratica brasileira



Fonte: Schnaid e Odebrecht, 2012, p.16.

De acordo com Schnaid e Odebrecht (2012) as informações na Figura 2, servem de base para indicar qual ensaio de campo deve ser compatível com as características do subsolo. Por exemplo, para solos granulares o ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) é o mais adequado, por outro lado, ele acaba não sendo adequado em regiões de solo moles.

Figura 2 - Aplicabilidade e uso de ensaios in situ

			Parâmetros											
Grupo	Equipamento	Tipo de solo	Perfil	u	ϕ'	S_u	D_r	m_v	c_v	K_0	G_0	σ_h	OCR	σ - ϵ
Penetrômetro	Dinâmicos	C	B	—	C	C	C	—	—	—	C	—	C	—
	Mecânicos	B	A/B	—	C	C	B	C	—	—	C	C	C	—
	Elétricos (CPT)	B	A	—	C	B	A/B	C	—	—	B	B/C	B	—
	Piezcone (CPTU)	A	A	A	B	B	A/B	B	A/B	B	B	B/C	B	C
	Sísmicos (SCPT/SCPTU)	A	A	A	B	A/B	A/B	B	A/B	B	A	B	B	B
	Dilatômetro (DMT)	B	A	C	B	B	C	B	—	—	B	B	B	C
	Standard Penetration Test (SPT)	A	B	—	C	C	B	—	—	—	C	—	C	—
	Resistividade	B	B	—	B	C	A	C	—	—	—	—	—	—
Pressiômetro	Pré-furo (PBP)	B	B	—	C	B	C	B	C	—	B	C	C	C
	Autoperfurante (SBP)	B	B	A	B	B	B	B	A	B	A	A/B	B	A/B
	Cone-pressiômetro (FDP)	B	B	—	C	B	C	C	C	—	A	C	C	C
Outros	Palheta	B	C	—	—	A	—	—	—	—	—	—	B/C	B
	Ensaio de placa	C	—	—	C	B	B	B	C	C	A	C	B	B
	Placa helicoidal	C	C	—	C	B	B	B	C	C	A	C	B	—
	Permeabilidade	C	—	A	—	—	—	—	B	A	—	—	—	—
	Ruptura hidráulica	—	—	B	—	—	—	—	C	C	—	B	—	—
	Sísmicos	C	C	—	—	—	—	—	—	—	A	—	B	—

Aplicabilidade: A = alta; B = moderada; C = baixa; — = inexistente
Definição de parâmetros: u = poropressão *in situ*; ϕ' = ângulo de atrito efetivo; S_u = resistência ao cisalhamento não drenada; D_r = densidade relativa; m_v = módulo de variação volumétrica; c_v = coeficiente de consolidação; K_0 = coeficiente de empuxo no repouso; G_0 = módulo cisalhante a pequenas deformações; σ_h = tensão horizontal; OCR = razão de pré-adensamento; σ - ϵ = relação tensão-deformação

Fonte: Lunne, Robertson e Powell (1997 apud Schnaid e Odebrecht, 2012, p.16).

De acordo com Schnaid e Odebrecht (2012) existem duas abordagens distintas para um projeto geotécnico específico a partir da análise dos resultados, que são: Métodos Diretos e Métodos indiretos. Segundo Schnaid e Odebrecht (2012, p17),

Métodos Diretos: de natureza empírica ou semiempírica, têm fundamentação estatística, a partir da qual as medidas de ensaio são correlacionadas diretamente ao desempenho de obras geotécnicas. O SPT constitui-se no mais conhecido exemplo brasileiro de uso de métodos diretos de previsão, aplicado tanto à estimativa de recalques quanto à capacidade de carga de fundações.

Métodos indiretos: os resultados de ensaios são aplicados à previsão de propriedades constitutivas de solos, possibilitando a adoção de conceitos e formulações clássicas de Mecânica de Solos como abordagem de projeto. Por exemplo, nos ensaios de palheta e pressiométricos, são assumidas algumas simplificações passíveis de interpretação analítica; a cravação de um cone em depósitos argilosos pode ser interpretada por meio de abordagens numéricas (p. ex., Baligh, 1986, Houlaby; Teh, 1988).

A técnica de ensaio escolhida, o tipo do solo a ser investigado, normas e códigos específicos, bem como as práticas regionais definirão qual abordagem (direta ou indireta) será escolhida. Schnaid e Odebrecht (2012) salientam que cabe ao engenheiro escolher qual procedimento de análise é o mais adequado.

2.2 MÉTODOS DE INTERPRETAÇÃO DE ENSAIOS

Áreas com depósitos granulares tem dificuldade na amostragem indeformada e por este fato, é necessário a realização de ensaios de campo para obtenção dos parâmetros de projeto. A investigação de campo é representada por ensaios de SPT, CPT, CPTu e Ensaio de Palheta. Para este trabalho apenas o ensaio SPT será aprofundado pois é o objeto de estudo.

2.2.1 *Standard Penetration Test* - SPT

A sigla SPT tem origem no termo inglês que significa “*Standard Penetration Test*” no Brasil é chamado de Sondagem a Percussão ou Sondagem de Simples Reconhecimento, sendo o nome do ensaio pelo qual se determina o índice de resistência a penetração (N), conforme a NBR 6484 (2001).

De acordo com Schnaid e Odebrecht (2012) esse ensaio é reconhecido como sendo o mais popular, rotineiro e econômico quando se trata de ferramentas para investigação geotécnica. O SPT é utilizado para investigação da densidade de solos granulares, consistência de solos coesivos e até mesmo em rochas brandas.

Assim como os autores acima relatam Cavalcante (2002) também argumenta que o ensaio SPT é um ensaio potencialmente utilizado em todo o mundo, não apenas no Brasil, como instrumento em investigações preliminares para o projeto de

fundações, por ser utilizado como ferramenta indicadora do tipo de solo, como também devido a sua simplicidade, robustez e rápido tempo de resposta.

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012) e a NBR 6484 (2001) o ensaio é constituído de maneira que é possível medir a resistência dinâmica conjugada a uma sondagem de simples conhecimento, com o auxílio de uma tradagem e circulação de água, sendo utilizado um trépano de lavagem a realização da perfuração torna-se viável. Ainda de acordo com os autores, as amostras retiradas do solo são coletadas a cada metro de profundidade por meio do amostrador padrão onde posteriormente servirão para análise de dados.

Para Schnaid e Odebrecht (2012) apesar da inúmeras críticas que o ensaio recebe devido a diversidade de procedimentos no momento da execução do ensaio e à pouca racionalidade de alguns métodos de uso e interpretação, ainda assim, esse é o método mais praticado em Engenharia de Fundações.

2.2.1.1 Equipamentos

Os equipamentos para a execução são regulamentados pela NBR 6484 (2001) sendo constituído por seis partes distintas: amostrador; hastes de aço com diâmetro interno de 25mm, diâmetro externo 33,4mm e peso teórico de 32N/m, acopladas por roscas ou luvas, devidamente atarraxadas, formando um conjunto retilíneo, em segmentos de 1,00m e/ou 2,00m; martelo de aço com massa de 65kg; torre ou tripé de sondagem, conforme demonstra a Figura 3; cabeça de bater, cuja finalidade é a transferência da energia do golpe do martelo para a haste, sendo fabricada com aço e de diâmetro igual a 83 ± 5 mm, com altura igual a 90 ± 5 mm; conjunto de perfuração, são equipamentos utilizados para a abertura do furo de sondagem como tendo como destaque os de tipo helicoidal e tipo concha. Sendo o amostrador padrão a peça principal pois é dela que será retirada a amostra para análise.

Figura 3 - Conjunto tripé



Fonte: Autoria própria.

De acordo com a NBR 6484 (2001) o amostrador-padrão deve ter, diâmetro externo de $50,8\text{mm} \pm 2\text{mm}$ e diâmetro interno de $34,9\text{mm} \pm 2\text{mm}$, conforme demonstra Figura 4, material retido dentro do amostrador-padrão vai ser armazenado para análise, sendo constituído pelas seguintes partes: cabeça, devendo ter dois orifícios laterais para a saída da água e do ar, devendo conter no seu interior uma válvula formada por uma esfera de aço recoberta de material inoxidável; corpo, devendo ser perfeitamente retilíneo, isento de quaisquer deformações, como por exemplo, amassamentos e/ou ondulações que possam alterar a seção superficial, podendo ser ou não ser bipartido longitudinalmente; sapata ou bico, devendo ser de aço temperado e estar isento de trincas, amassamentos, ondulações ou qualquer tipo de deformação que altere a sua seção.

Figura 4 - Amostrador-padrão



Fonte: Autoria própria.

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012) a amostra presente dentro do amostrador deve ser retirada da amostrador e logo após armazenada em um recipiente hermético e conduzida até o laboratório, onde será analisada para a classificação granulométrica, cor, presença de material orgânico e origem, essa análise deve ser realizada por um geólogo ou engenheiro geotécnico.

2.2.1.2 Procedimentos

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012) não existe um procedimento de perfuração que seja único, variabilidade ocorre pelo fato de existirem diferentes tipos de solos, sistemas de perfuração, procedimentos e equipamentos que possam ser empregados. Para ensaios realizados acima do lençol freático a execução deve ser feita com trado helicoidal. Para ensaios abaixo do lençol freático, o ensaio deve

prosseguir com sistema de circulação de água, sendo bombeada pelo interior das hastes até a extremidade inferior do furo. Para qualquer procedimento que seja executado, deve ser tomado cuidado para evitar o amolgamento do solo na cota de ensaio e que o solo escavado no fundo da perfuração seja removido corretamente, se ocorrer dificuldades em manter o furo aberto, deve ser utilizado tubos de revestimento ou algum tipo de estabilizante (lama bentonítica).

2.2.1.3 Apresentação de resultados

De acordo com Pinto (2006), o solo é classificado por sua compacidade, quando solos grossos ou por sua consistência no caso de solos finos. A Tabela 1 apresenta a compacidade das areias, solos grossos, em função do SPT, enquanto que a tabela 2 apresenta as consistências das argilas em função do SPT.

Tabela 1 - Compacidade das areias em função do SPT

Resistência à penetração (número N do SPT)	Compacidade da areia
0 a 4	muito fofa
5 a 8	fofa
9 a 18	compacidade média
18 a 40	compacta
acima de 40	muito compacta

Fonte: Pinto, 2006, p.48.

Tabela 2 - Consistências das argilas em função do SPT

Resistência à penetração (número N do SPT)	Consistência da argila
< 2	muito mole
3 a 5	mole
6 a 10	consistência média
11 a 19	rija
> 19	dura

Fonte: Pinto, 2006, p.48.

Para Pinto (2006) os resultados devem ser apresentados em forma de perfis do subsolo contendo as seguintes informações: descrições de cada solo encontrado, as cotas correspondentes a cada camada, a posição do nível d'água (ou níveis d'água) e sua eventual pressão, a data em que foi determinado o nível d'água e os valores da resistência à penetração do amostrador. Schnaid e Odebrecht (2012) também salientam que os resultados devem ser apresentados em planilha onde são descritas as características do solo, o número de golpes necessários para a penetração do amostrador a cada profundidade, a profundidade do nível freático, a posição e a cota do furo. Para um ensaio mais completo é recomendado reservar cerca de 10 gramas da amostra para determinação do teor de umidade e o restante para determinação de finos. A Figura 5 apresenta um perfil típico de uma sondagem de simples reconhecimento.

Figura 5 - Perfil típico de uma sondagem de simples reconhecimento

Cota (m)	Profund. (m)	N. A.	S P T	Descrição	Convenção
781	0		8	Areia fina, média e grossa, argilosa e siltosa, amarela	
	- 2		11		
			7	Argila siltosa, pouco arenosa, consistência média, variegada	
	- 5		9		
			8		
775	- 8	(7/7/94) - 8	21	Argila siltosa, pouco arenosa, consistência rija, amarela e cinza	
			17		
	- 10		15		
			20	Areia fina e média, pouco argilosa, compacta, cinza-amarelada	
			31		
770			41	Argila siltosa, pouco arenosa, dura, cor variegada	
			48		
			61		
			57		
			58		
765			30/15		
			30/14		
			30/12		
			30/14		
			30/10		
			30/11		
760	- 21	(10/7/94)	Lavagem	Limonita (concreções)	
	- 22	- 22,30	30/16		
			30/12	Areia fina e média, com algumas lentes de limonita, siltosa, compacta, amarela e vermelha	
			30/8		
755	- 26		Lavagem		

2.2.1.4 Fatores que Afetam o SPT

De acordo com Gerscovich *et al.* (2016, p. 185),

Vários são os fatores que afetam o SPT, entre os quais podem ser citados(Cavalcante, 2002): uso de circulação de água na perfuração acima do lençol freático, dimensionamento da bomba e direção do jato de água do trépano, limpeza inadequada do furo de sondagem, desequilíbrio hidrostático, tipo de martelo, altura de queda do martelo, frequência dos golpes, corda, amostrador com imperfeições, desaceleração do martelo por causa do atrito, estado de conservação das hastes(assim como comprimento e tipo), uso ou supressão do coxim, excentricidade do martelo em relação às hastes, erros de anotações, alívio de tensões do solo devido à perfuração, presença de pedregulhos e seixos, intervalo de penetração, peso da cabeça de bater, condições do solo e uso ou supressão de *liner*..

2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

2.3.1 Caracterização de solos

Para iniciar este assunto é necessário estabelecer algumas definições a respeito do conceito de solo. Conforme relata Pinto (2006, p.14),

Os solos são constituídos por um conjunto de partículas com água (ou outro líquido) e ar nos espaços intermediários. As partículas, de maneira geral, encontram-se livres para deslocar-se entre si. Em alguns casos, uma pequena cimentação pode ocorrer entre elas, mas num grau extremamente mais baixo do que nos cristais de uma rocha ou de um metal, ou nos agregados de um concreto. O comportamento dos solos depende do movimento das partículas sólidas entre si e isso faz com que ele se afaste do mecanismo dos sólidos idealizados na Mecânica dos Sólidos Deformáveis, na qual se fundamenta a Mecânica das Estruturas, de uso corrente na Engenharia Civil.

Ainda ressaltando acerca de solos, Pinto (2006) afirma que todos os solos são originados da decomposição das rochas localizadas inicialmente na crosta

terrestre. A decomposição decorre da ação tanto agentes químicos como físicos. A água acaba percolando entre as trincas dos minerais constituintes da rocha original uma vez formadas devido a variações térmicas, atacando os quimicamente. Como também, a água pode congelar dentro das trincas que entre outros fatores, exerce o aumento das tensões e por fim uma maior fragmentação do maciço. O referido autor ainda revela uma série de outros processos químicos como hidratação, hidrólise, oxidação, lixiviação, troca de cátions, carbonatação todos oriundos da presença da fauna e flora, esses processos são mais atuantes em regiões onde o clima é mais quente.

De acordo com Pinto (2006) o tamanho das partículas é a primeira característica que diferencia os solos no momento de caracterizar, pois alguns solos como areia marinha ou pedregulhos são perceptíveis ao olho nu e outros são tão finos que se molhados acabam aglutinados como uma pasta ou barro não sendo possível a visualização das partículas separadamente. Segundo o autor, é enorme a variedade do tamanho dos grãos, não se percebe no primeiro momento pelo fato dos materiais serem tão pequenos com os que estamos acostumados a manusear. “Existem grãos de areia com dimensões de 1 a 2 mm, e existem partículas de argila com a espessura da ordem de 10 Angstrons (0,000001).” (PINTO, 2006, p.15).

Para as diversas faixas de tamanhos de grãos são empregadas denominações específicas, sendo que seus limites variam de acordo com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), sendo apresentados na Tabela 3. Segundo Pinto (2006) apesar da terminologia adotada pela ABNT, é comum a separação entre as frações de silte e areia ser tomada como 0,075mm, pois representa a abertura da peneira nº 200, pois é a peneira mais fina utilizada em laboratórios. “O conjunto de silte e argila é denominado como a fração de finos do solo, enquanto o conjunto areia e pedregulho é denominado fração grossa ou grosseira do solo.” (PINTO, 2006, p.15).

Tabela 3 - Limites das frações de solo pelo 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 0,05 mm
Argila	inferior a 0,005 mm

Fonte: PINTO, 2006, p.16.

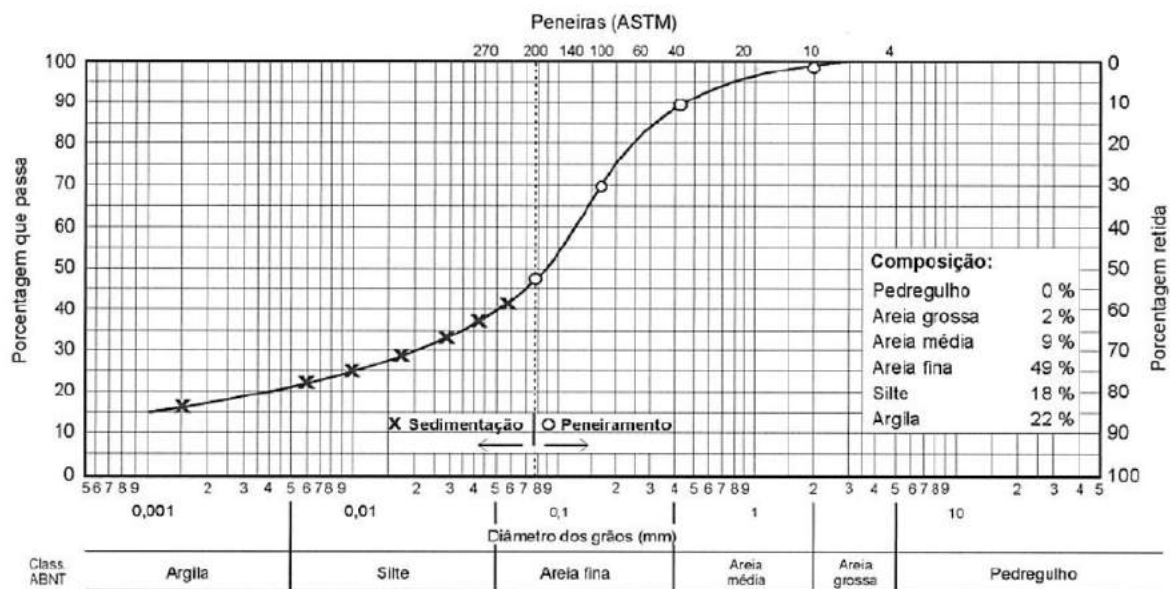
A identificação de solos por meio do tamanho de suas partículas que o compõem pode indicar uma primeira divisão ou classificação possível. Pinto (2006) relata que existem dois tipos de ensaio baseados a partir do tamanho das partículas, que são eles, a análise granulométrica e os índices de consistência. Sobre o ensaio de análise granulométrica, Pinto (2006, p.21) afirma:

Num solo, geralmente convivem partículas de tamanhos diversos. Nem sempre é fácil identificar as partículas, porque grãos de areia, por exemplo, podem estar envoltos por uma grande quantidade de partículas argilosas, finíssimas, com o mesmo aspecto de uma aglomeração formada exclusivamente por essas partículas argilosas. Quando secas, as duas formações são dificilmente diferenciáveis. Quando úmidas, entretanto, a aglomeração de partículas argilosas se transforma em uma pasta fina, enquanto que a partícula arenosa revestida é facilmente reconhecida pelo tato. Portanto numa tentativa de identificação tátil-visual dos grãos de um solo, é fundamental que ele se encontre bastante úmido.

De acordo com Pinto (2006) a análise granulométrica é dividida em duas fases: peneiramento e sedimentação. O peneiramento é o processo que através de um conjunto de peneiras com aberturas padronizadas sendo a menor delas é a de 0,075mm (peneira nº 200), o peso do material que passa por cada peneira, referido ao peso seco da amostra, é denominado como a porcentagem que passa

(porcentagem passando) e apresentada graficamente em escala logarítmica. De modo que, ocorrendo a necessidade de conhecimento da distribuição granulométrica das partículas mais finas dos solos, aplica-se a sedimentação que é baseada na Lei de Stokes. A Figura 6 apresenta um exemplo de uma curva de distribuição granulométrica do solo.

Figura 6 - Exemplo de curva de distribuição granulométrica do solo



Fonte: Pinto, 2006, p.21.

Pinto (2006) relata que pela Lei de Stokes, a velocidade de queda de partículas esféricas num fluido atingindo um valor limite que depende do peso específico do material da esfera, do peso específico do fluido, da viscosidade do fluido, e do diâmetro da esfera, de acordo com a Equação 1.

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 \times \mu} \times D^2 \quad (1)$$

Onde:

γ_s = peso específico do material da esfera;

γ_w = peso específico do fluido;

μ = viscosidade do fluido;

D = diâmetro da esfera.

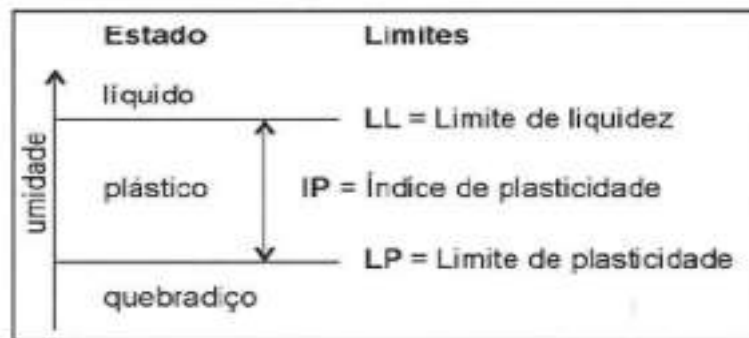
Para Pinto (2006) apenas a distribuição granulométrica não é capaz de caracterizar bem o comportamento dos solos para a análise sob aspectos de engenharia, pois a porção fina dos solos é de grande importância nesse comportamento, “ [...] quanto menores as partículas, maior a superfície (superfície das partículas dividida por seu peso ou seu volume).” (Pinto, 2006, p. 24)

Para Pinto (2006) com o comportamento partículas com superfícies específicas das mais variadas formas perante a água é muito diferenciado, por exemplo, em partículas de minerais argila é possível encontrar diferenças nas suas estruturas mineralógicas, como também em seus cátions adsorvidos, por isso para a mesma porcentagem de argila, o solo pode acarretar em comportamento muito diverso, pois irá depender das características dos minerais presentes.

Como muitos fatores interferem na análise do comportamento do solo, o seu estudo acaba sendo de grande complexidade, em resposta a essa complexidade a Engenharia buscou métodos de análise indireta sendo baseada no comportamento do solo em presença de água, que acabaram conhecidos como os limites de Atterberg (Índices de consistência).

De acordo com Pinto (2006), os limites são baseados na verificação de que um solo argiloso ocorre com diferentes aspectos conforme seu teor de umidade, ou seja, quanto mais úmido, mais ele terá um comportamento de um líquido, da mesma forma, que a medida que ele vai perdendo água, vai tornando-se plástico e quando estiver seco será quebradiço. Como demonstra a Figura 7, a mudança de estado do solo está relacionada com o teor de umidade presente nele, sendo denominados como Limite de Liquidez (L_L) e Limite de Plasticidade (L_P), e assim existe o Índice de Plasticidade (I_P), que é definido como a diferença entre os limites e é a faixa onde o solo é considerado plástico. Para efeito de apresentação de resultados apenas os valores do LL e do IP são apresentados como índices de consistência dos solos, o LP apenas é utilizado para a determinação do IP.

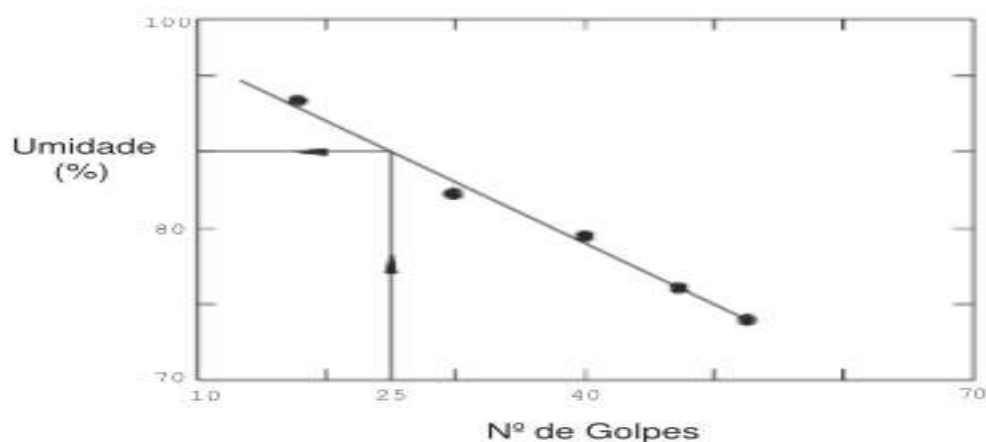
Figura 7 - Limites de Atterberg do solo



Fonte: Pinto, 2006, p.25.

O Limite de Liquidez conforme Ortigão (2007) informa é descrito como teor de umidade do solo para que uma ranhura aberta no solo, seja fechada em 25 golpes, após a realização de várias tentativas, com o solo em diferentes umidades vai sendo anotado o número de golpes para fechar a ranhura e por interpolação chega-se ao resultado, a Figura 8 demonstra o gráfico do número de golpes x umidade após. O Limite de Plasticidade é caracterizado como o menor teor de umidade onde é possível moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro, sendo utilizada a palma da mão para rolar o solo.

Figura 8 - Gráfico do número de golpes x umidade para determinação do LL



Fonte: Ortigão, 2007, p.26.

2.3.2 Sistemas de classificação

Pinto (2006, p. 63) relata.

A diversidade e a diferença de comportamento dos diversos solos perante as solicitações de interesse da Engenharia levou ao seu natural agrupamento em conjuntos distintos, aos quais podem ser atribuídas algumas propriedades. Dessa tendência reacional de organização da experiência acumulada, surgiram os sistemas de classificação dos solos.

O objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista de engenharia, é poder estimar o provável comportamento do solo ou, pelo menos, orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema.

Tendo em vista que um sistema de classificação de solos pode ser muito discutido, Pinto (2006, p. 63) ressalta que, “ De um lado, qualquer sistema cria grupos definidos por limites numéricos descontínuos, enquanto solos naturais apresentam características progressivamente variáveis.” De acordo com o autor, em algum momento, onde solos que apresentam índices muito próximos aos limites de classificação, apesar de terem comportamentos muito semelhantes, sejam classificados em grupos distintos. Índices e parâmetros de um solo são as suas informações mais completas, e não os parâmetros do grupo ao qual ele foi classificado, contudo a classificação dos solos é indispensável para a transmissão de conhecimento. Dessa forma, quando uma solução foi aplicada, obtendo resultados satisfatórios, foi para um determinado tipo de solo. Por isso, quando um tipo de solo é considerado, o mesmo deve ser compreendido por todos, comprovando a necessidade de que existe um sistema de classificação. “Se, por exemplo, a expressão areia bem-graduada compacta for empregada para descrever um solo, é importante que o significado de cada termo dessa expressão possa ser entendido da mesma maneira por todos e, se possível, ter limites bem definidos.” (Pinto, 2006, p. 63).

De acordo com Pinto (2006, p. 64),

Existem diversas formas de classificar os solos, como pela origem, pela sua evolução, pela sua presença ou não de matéria orgânica, pela estrutura, pelo preenchimento dos vazios. Os sistemas baseados no tipo e no comportamento das partículas que constituem os solos são mais conhecidos na engenharia de solos. Deve-se levar em conta que outras classificações, que levam em consideração a origem do solo e sua evolução natural, são muito úteis, com informações complementares que, em certos casos, são bastantes revelantes,[...].

Desse modo a seguir serão apresentados resumos de dois sistemas de classificação de solos.

2.3.2.1 Classificação unificada

Conforme Pinto (2006) antes deste sistema de classificação tornar-se generalizado, seu emprego foi oriundo para obras de aeroportos, desenvolvido pelo Prof. Casagrande. Nos dias atuais é empregado por engenheiros geotécnicos que trabalham em barragens de terra. A Tabela 4 demonstra a terminologia empregada no sistema.

Tabela 4 - Terminologia do Sistema Unificado

G	pedregulho
S	areia
M	silte
C	argila
O	solo orgânico
W	bem graduado
P	mal graduado
H	alta compressibilidade
L	baixa compressibilidade
Pt	turfas

Fonte: Pinto (2006, p. 64).

Segundo Pinto (2006), a principal característica desse sistema é identificar todos os solos pelo conjunto de duas letras, como apresentado na Tabela 4, onde as cinco letras superiores são a principal característica do solo e as quatro abaixo são consideradas dados complementares do solo. Portanto um solo classificado como CH por exemplo, seria uma argila de alto compressibilidade. Já um solo SP, seria uma areia mal graduada.

Para a classificação por esse sistema, Pinto (2006) informa, a primeira diferenciação a ser considerada é a quantidade de finos que está presente na amostra, tendo em vista que todo material que passa na peneira nº 200, cuja abertura é 0,075mm é considerado fino. Dessa forma, se a porcentagem passante na peneira nº 200 for menor que 50, o solo será classificado como solo de granulação grosseira, sendo representado pelas letras **G** ou **S**. Por outro lado, se a porcentagem for maior que 50, será classificado como solo de granulação fina, sendo representado pelas letras M, C ou O.

De acordo com Pinto (2006), um solo caracterizado com granulação grosseira, deverá ser subdividido como pedregulho ou areia, conforme qual dessas frações granulométricas predominar na amostra analisada, assim, se um solo tiver 30% de pedregulho, 40% de areia e 30% de finos, ele será classificado como areia – S. Após determinada a principal característica, é necessário encontrar a informação secundária da amostra. Sendo a porcentagem de finos menor que 5% deve ser feita a verificação da sua composição granulométrica. Materiais classificados como granulares podem ser bem-graduados, quando predominam partículas com vários diâmetros, ou mal-graduados, quando predominam partículas de um determinado diâmetro.

A expressão “bem-graduado” expressa o fato de que a existência de grãos com diversos diâmetros confere ao solo, em geral, melhor comportamento sob o ponto de vista de engenharia. As partículas menores ocupam os vazios correspondentes às maiores, criando um entrosamento, do qual resulta menor compressibilidade e maior resistência. (Pinto, 2006, p. 65).

Pinto (2006) relata que quando é determinado que a amostra do solo ocorre a predominância de frações finas, ele deverá ser classificado como silte (M), argila (C)

ou solo orgânico (O). Nesses casos, a determinação do comportamento argiloso é realizada através do seu teor de argila e também pela sua atividade. Desse modo, as maneiras mais indicadas para caracterizar um solo de comportamento argiloso são pelos índices de consistência.

Retornando ao sistema de classificação unificado, Pinto (2006) ressalta que apesar de ser considerado duas letras para representar o solo (características principal e secundária), a descrição deve ser realizada o mais completa possível. Conforme o autor traz como um exemplo da descrição de um solo SW que seria uma “[...] areia (predominantemente) grossa e média, bem-graduada, com grãos angulares cinza.” (Pinto, 2006, p.69)

O sistema ainda considera tipos de solos classificados como turfas (Pt), que são solos onde há presença de muito material orgânico, onde a predominância de fibras vegetais em decomposição parcial.

2.3.2.2 Classificação dos solos pela origem

Outra maneira de classificar um solo e que será tratada neste capítulo é a classificação dos solos pela sua origem, trazendo destaque para solos conhecidos como residuais, pois são de interesse deste trabalho. Segundo Pinto (2006) classificação dos solos pela sua origem é uma complementação de grande valor para garantir a transmissão de conhecimentos, além de fundamental para o conhecimento das ocorrências em cada região. Segundo o autor, indicar a origem do solo pode ser mais importante até mesmo o que a classificação de sua constituição física. Sendo assim, a classificação quanto a origem pode ser primeiramente dividida em dois grandes grupos: solos residuais e solos transportados (ou sedimentares).

Segundo informado por Pinto (2006), solos residuais são definidos como solos em decomposição que se encontram no mesmo local onde se formaram, não ocorrendo o deslocamento nem o transporte das partículas. Agentes externos podem agir para movimentar as massas de solo, assim para que não ocorra esta remoção, a velocidade de decomposição da rocha deve ser maior que a velocidade de remoção dos agentes externos. A temperatura, o regime de chuvas e a vegetação da região são alguns fatores que podemos considerar que influenciam a velocidade de decomposição. Em regiões de clima tropical (predominante no Brasil) favorecem uma degradação com velocidade mais acentuada nas rochas. Dessa

maneira, os solos residuais apresentam-se em horizontes onde o intemperismo ocorreu de forma decrescente, ou seja, o intemperismo sofrido pela rocha é menor quanto mais profundo for o horizonte.

Os solos residuais ainda são subdivididos em outros grupos, segundo relata Pinto (2006, p. 72).

Solo residual maduro: superficial ou sotoposto a um horizonte “poroso” ou “húmico”, e que perdeu toda a estrutura original da rocha-mãe e tornou-se relativamente homogêneo.

Saprolito ou solo saprolítico: solo que mantém a estrutura original da rocha-mãe, inclusive veios intrusivos, fissuras e xistosidade, mas perdeu a consistência de rocha. Visualmente pode confundir-se como uma rocha alterada, mas apresenta pequena resistência ao manuseio. É também chamado de solo residual jovem ou solo de alteração de rocha.

Rocha alterada: horizonte em que a alteração progrediu ao longo de fraturas ou zonas de menor resistência, deixando intactos grandes blocos da rocha original.

Quando o assunto está relacionado a solos residuais, Pinto (2006) relata que é importante indicar a rocha-mãe, pois é sabido no meio geotécnico e geológico que o conhecimento da rocha matriz (rocha mãe) já revela traços da composição física do solo. “Solos residuais de basalto são predominantemente argilosos, os de gnaiss são siltosos e os de granito apresentam teores aproximadamente iguais de areia média, silte e argila, etc.” (Pinto, 2006, p.73)

Outra maneira de classificar solos pela sua origem é caracteriza-los como solos transportados, Pinto (2006) afirma que são solos que de alguma forma devido a ação de agentes de transportes foram levados para longe da rocha-mãe. As características dos solos são determinadas em função do agente transportador.

Dessa forma, Pinto (2006) caracteriza os tipos de solos transportados existentes. Aqueles que são oriundos por ação da gravidade são chamados de solos coluvionares, como exemplo de ocorrência no Brasil, podem ser citados os solos coluviões do planalto brasileiro que estão depositados sobre solos residuais. Além desses, os escorregamentos das escarpas da Serra do Mar formando os tálus nos

pés do talude, e também, massa de materiais diversos, sujeito a movimentações de rastejo.

De acordo com Pinto (2006) quando a água é a responsável pelo transporte do solo, são formados solos conhecidos como solos aluvionares ou aluviões. O que determina a constituição desses tipos de solos é a velocidade das águas no momento de deposição. Aluviões pode ser predominantemente arenosos ou argilosos, estes muito comum em várzeas quaternárias de córregos e rios. Devido aos regimes de cheias e secas dos corpos d'água que geram camadas sobrepostas de granulometria distintas.

Quando os sedimentos são transportados devido à ação do vento, de acordo com Pinto (2006) formam-se depósitos eólicos. Este tipo de partícula tem como característica ser mais arredondada, devido ao atrito constate que ocorre entre elas. O arenito Botucatu, localizado no Brasil, apresenta areias com partículas bem arredondadas porque a rocha sedimentar original foi formada por grãos previamente transportadas pela ação do vento.

O solo laterítico, frequentemente encontrado em regiões de clima quente, com regimes de chuvas moderadas a intensas. Segundo Pinto (2006), Pedologia é a ciência que estuda as transformações da superfície dos depósitos geológicos, responsáveis pelo aparecimento de diferentes horizontes tanto em solos residuais como em solos sedimentares. O termo "laterítico" provém da Pedologia e, apesar de não ser mais utilizado por pedólogos, passou a ser muito utilizado por engenheiros, em especial, por engenheiros rodoviários, que trabalham com solos superficiais e fazem o uso de correlações favoráveis para o comportamento de pavimentos e taludes.

Pinto (2006) informa solos lateríticos apresentam frações argilosas com altas concentrações de ferro e alumínio oxidados, além de serem constituídos por minerais caulíníticos, fato que acaba produzindo a típica coloração avermelhada. Apesar de geralmente apresentarem elevados índices de vazios e serem não saturados, o que justifica sua baixa capacidade de suporte, no momento que são compactados, sua capacidade de suporte torna-se elevada, sendo assim, muito empregado na construção de aterros e obras de pavimentação. Além disso, após compactados, solos lateríticos se contraem quando o teor de umidade diminui e não se expandem na presença de água.

O solo ainda pode ser classificado como solos colapsíveis, que de acordo com Cintra *et al.* (2013), são aqueles solos não saturados, em grande parte poroso, que no momento que os vazios são preenchidos com água pode ocorrer colapso na sua estrutura, sendo caracterizado por um recalque adicional e repentino, com grandes proporções, sob carga constante.

Assim, tendo sido destacada algumas particularidades dos mais diversos tipo de solos, pode-se ter uma clareza dos desafios que os engenheiros geotécnicos encontram ao projetar estruturas que devem interagir com solos e atender requisitos satisfatórios de desempenho, qualidade e segurança. Vale ressaltar que ainda existem outros sistemas de classificação de solos, como por exemplo, o sistema rodoviário e os sistemas regionais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão abordados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Os materiais são solos provenientes da realização dos ensaios SPT, num total de 3 ensaios, em todos os casos as amostras de solo estão localizadas dentro do canteiro de obras do complexo Espírito Santo, da Construtora Jobim, sendo localização na Rua Venâncio Aires, 1434, região central de Santa Maria, Rio Grande do Sul. E os métodos abordados serão Ensaio de Caracterização, Ensaio de Sedimentação, Determinação da umidade natural do solo, Determinação da umidade higroscópica, Determinação da massa específica e Ensaio SPT.

3.1 COMPLEXO ESPIRÍTO SANTO

Quando finalizado o complexo contará com mais de 60.000 m² construídos, sendo 3 torres compostas de 15 pavimentos e 3 subsolos, e em especiais para a Torre Bondade que serão 4 subsolos e 15 pavimentos.

3.2 GEOLOGIA LOCAL

A cidade de Santa Maria está situada no centro geográfico do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 53°19'32" e 54°19'32" longitude oeste, e 29°20'28" e 30°00'16" latitude sul. A área do município compreende aproximadamente 1.781,757 km², possui uma altitude média de 113 metros em relação ao nível do mar, sendo situada a cerca de 290 km da capital do estado Porto Alegre. De acordo com o IBGE 2010, o município possui 261.031 mil habitantes.

De acordo com Hauber (2008, p.43)

Santa Maria apresenta seu substrato formado por rochas sedimentares, além de rochas de origem vulcânica em menor quantidade. As rochas sedimentares representam os vários ciclos deposicionais em área continental, com variações definidas pelas diferentes fácies nas sequências de mesma idade e por trocas climáticas nas sequências de idades diferentes (OLIVEIRA, 2004). As rochas vulcânicas formam derrames

sucessivos de lavas originados durante o mesozoico que recobriu a Bacia do Paraná. As rochas mais antigas encontradas no município correspondem a um pacote de rochas sedimentares Triássicas.

Segundo Hauber (2008), as unidades estratigráficas encontradas em Santa Maria são as formações: Rosário do Sul, Santa Maria, Caturrita, Botucatu e Serra Geral. A Figura 9 demonstra o Mapa Geológico da Folha de Santa Maria – RS.

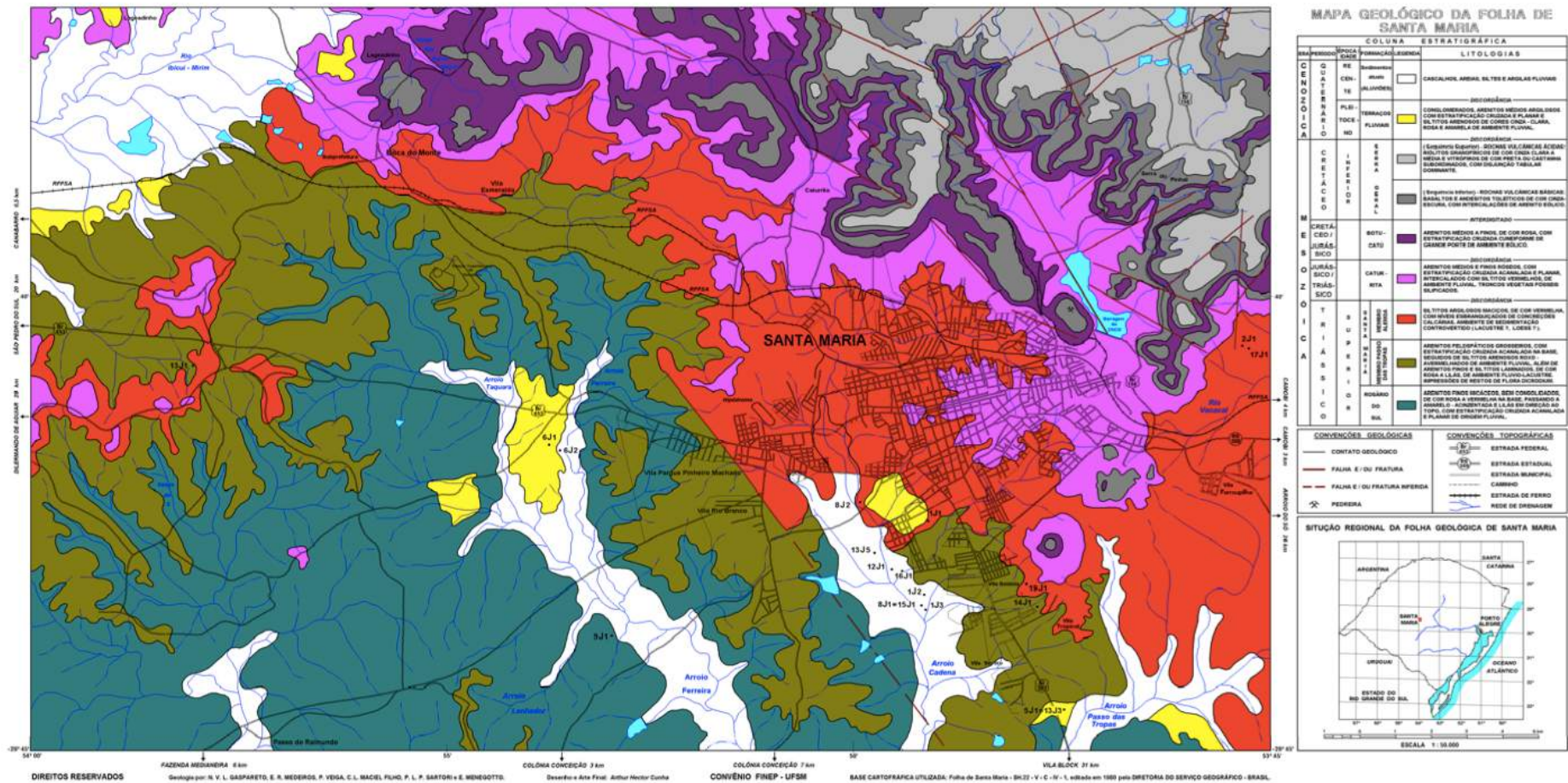
Maciel Filho (1977) define a Formação Rosário do Sul como uma formação constituída por rochas sedimentares de origem fluvial, com predominância de arenitos finos a médios (ferruginosos ou levemente calcíferos), com alta porcentagem de silte e argila (avermelhados, amarelados e esbranquiçados). São basicamente quartzosos, com algum feldspato e mica, regularmente apresentam intercalações de siltitos arenosos e siltitos argilosos.

A Formação Santa Maria de acordo com Maciel Filho (1990) é dividida em arenito basal Santa Maria (Passo das Tropas) e Formação Santa Maria exceto arenito basal (Alemoa). Sendo a primeira constituída por arenito grosseiro, feldspático, poroso. O feldspato aparece como pontos brancos. A cor da rocha é rosada e sua origem é fluvial. Já a Formação Santa Maria exceto arenito basal (Alemoa) é formada por siltitos argilosos e arenitos argiloso, vermelhos, com folhelhos na base, apresentando mica e concreções calcíferas irregulares.

Formação Caturrita conforme Maciel Filho (1990) é constituída por camadas de arenitos finos a médios, de cor rosa a cinza claro de composição quartzosa a matriz argilosa do grupo montmorilonitas e ilitas com partes de certa relevância de teor de feldspato.

Formação Botucatu de acordo com Bortoluzzi (1974) é formada por arenitos finos a médios, com percentagem reduzida de silte e argila, para Maciel Filho (1990) a porção superior é caracterizada por apresentar sedimentação eólica sendo composta por arenitos essencialmente quartzosos com a presença de feldspato alterados cimentados por sílica ou óxido de ferro.

Figura 9 - Mapa Geológico da folha de Santa Maria



Fonte: Adaptado do Mapa geológico da filha de Santa Maria - RS

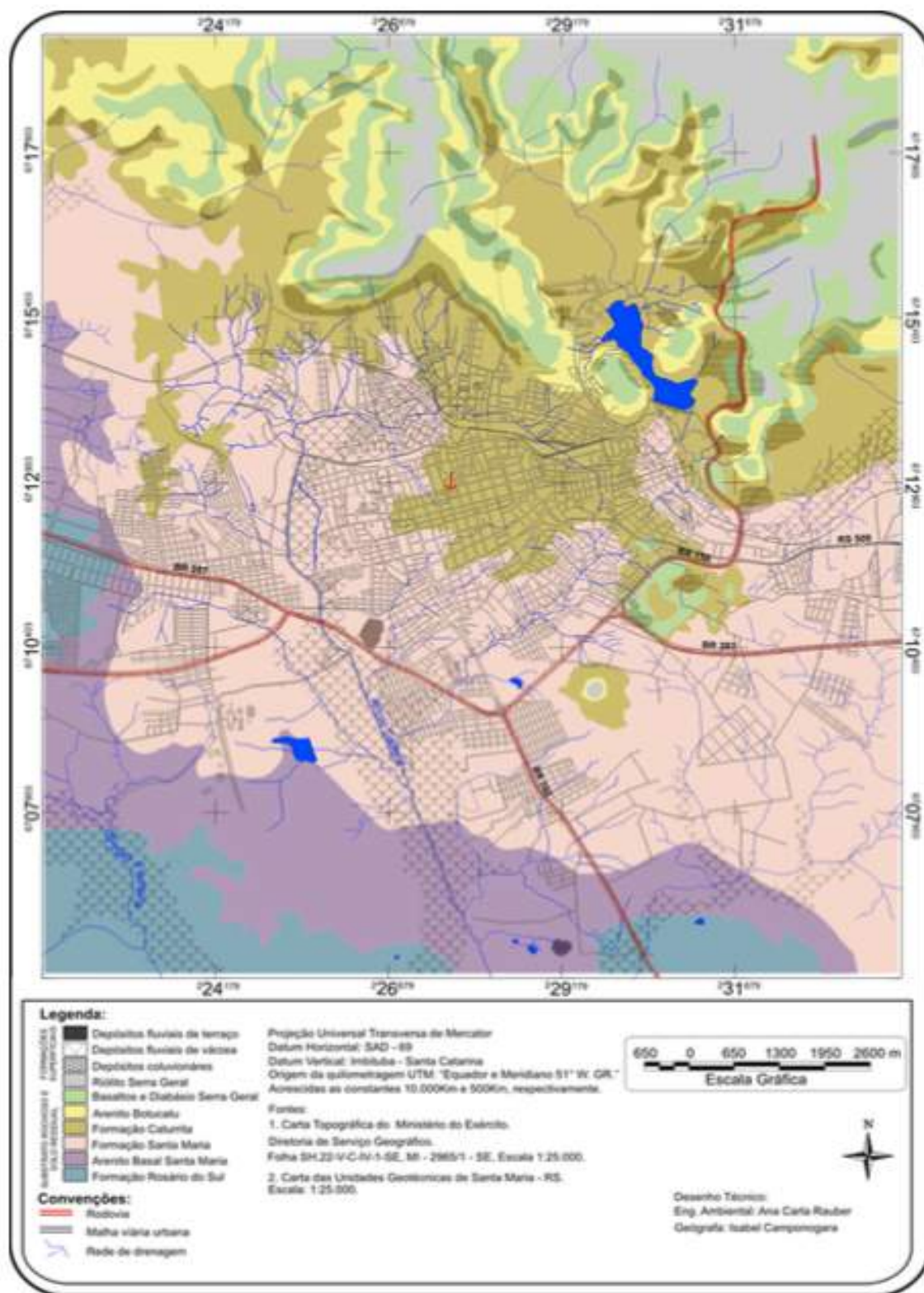
A Formação Serra Geral (Basaltos, Diabásio e Riólito) segundo Maciel Filho (1990) é formada por duas sequências vulcânicas, uma básica e outra ácida. Para o autor os derrames básicos são constituídos por basaltos de intercalações de arenitos eólicos e os derrames ácidos por vitrófiros e granófiros.

Maciel Filho (1990) informa que Santa Maria é situada junto ao rebordo do Planalto Meridional Brasileiro, denominado como Serra Geral. No relevo da região existem três feições bem distintas. A primeira é das planícies aluviais, com presença de sedimentos quaternários, apresenta topografia plana e sujeita a inundações. A segunda está relacionada as áreas de coxilhas, apresentando rochas sedimentares Triássicas, sendo formada por colinas alongadas com topografia suavemente ondulada. As planícies aluviais e as coxilhas estão contidas na Depressão Central Gaúcha com declives suaves, com amplitudes que variam de 70 a 160 m e representam área de degradação.

Conforme Pinheiro *et al.* (2002) a transição da Depressão para o Planalto ocorre através da unidade geomorfológica Serra Geral – Área Serrana, onde os declives geralmente ultrapassam a 15%, é considerado parte dessa unidade os morros testemunhos isoladas da depressão. As altitudes das encostas variam de 120 a 470m. O substrato rochoso é constituído pelas Formações Caturrita, Botucatu e Serra Geral. Essa unidade caracteriza a terceira feição do relevo da região, sendo modelada em rochas vulcânicas, com elevações de topo aplainado e com patamares, nas encostas.

A obra em questão está contida na Formação Caturrita, conforme demonstra a Figura 10, segundo Maciel Filho (1977) a Formação Caturrita é profunda, em torno de 2 a 3 m, é arenoso, com boa quantidade de argila devido à completa alteração dos feldspatos, é do tipo podzólico vermelho amarelo, ocorrendo a predominância de solos arenosos. Na formação Caturrita a resistência dos solos à erosão é baixa, progride rapidamente quando o solo superficial é retirado, em relação às fundações as camadas arenosas espessas não oferecem problemas, bastando apenas encontrar a profundidade adequada para a capacidade de carga.

Figura 10 - Carta das Unidades Geotécnicas de Santa Maria Digitalizada



Fonte: Adaptado da Carta de Unidades Geotécnicas de Santa Maria - RS

3.3 ENSAIO SPT

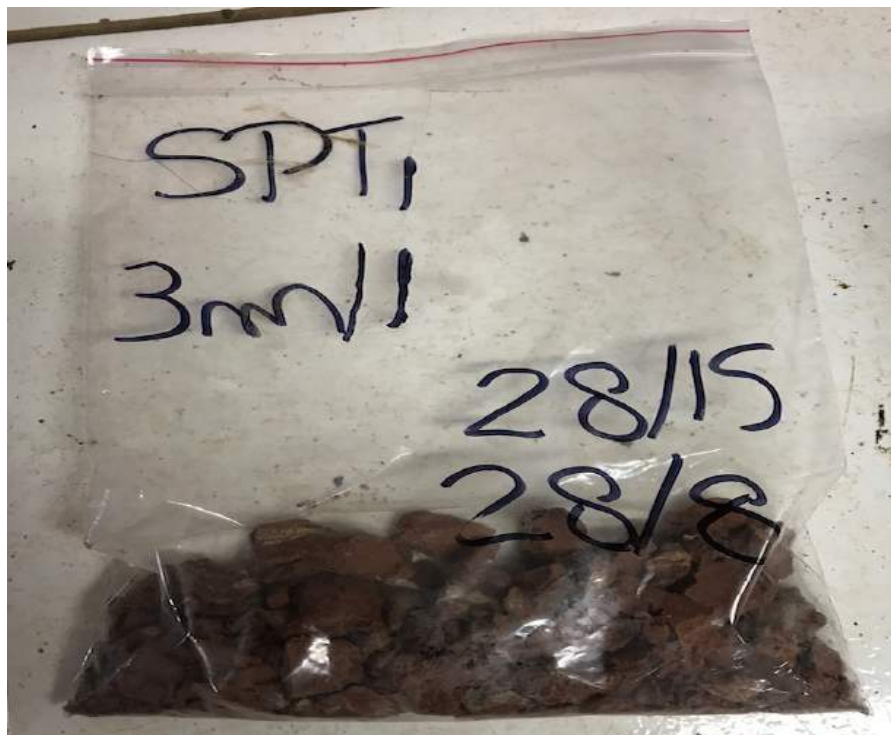
A realização do ensaio SPT foi regulado de acordo com a ANBT NBR 6484 (2001), e gerido pela empresa SM Estacas de Santa Maria – RS.

Conforme a NBR 6484 (2001) para o início do procedimento com o amostrador já no fundo da perfuração, é colocado o martelo sobre a cabeça de bater e é verificado se com o simples soltar do martelo houve penetração, caso a resposta for sim, o valor é registrado na folha do ensaio, por exemplo, P/32 – peso para 32 cm de penetração permanente), caso não aja penetração será marcado na haste 3 pontos de 15 cm cada e assim inicia-se a cravação, contando o número de golpes necessários para a cravação de cada ponto, por exemplo, 5/15, 7/15, 9/15. Devido o fato de nem sempre ser possível alcançar os 15 cm perfeitamente é recomendado anotar também o valor alcançado na cravação, como por exemplo, 5/14, 7/16, 9/15. Durante a perfuração deve-se atentar para momentos onde ocorra a transição de camadas que são detectadas por meios tátil-visual e mudança de coloração do material sendo anotadas sua respectiva profundidade.

Conforme salienta a NBR 6484 (2001), a cravação do amostrador-padrão será interrompida antes dos 45 cm de penetração sempre que em qualquer dos três segmentos de 15 cm, o número de golpes for maior que 30; durante toda a cravação alcançar 50 golpes; não sendo observado avanço em 5 golpes consecutivos. Quando atingido os 45 cm da cravação, o índice de resistência à penetração N é expresso como a soma do número de golpes alcançado para a segunda e terceira marcação de 15 cm. Conforme Schnaid e Odebrecht (2012, p. 28), salientam “ O número N_{SPT} utilizado nos projetos de engenharia é a soma dos valores correspondentes aos últimos 30 cm de penetração do amostrador”.

Segundo a NBR 6484 (2001), as amostras devem ser alocadas em caixas ou sacos, conforme demonstra a Figura 11, devendo ser identificada corretamente, protegida de sol e de chuva.

Figura 11 - Amostra do ensaio SPT devidamente acondicionada



Fonte: Autoria Própria.

Os ensaios relacionados na obra foram interrompidos pelos seguintes critérios de paralisação, de acordo NBR 6484 (2001, p.13),

- a) Quando, em 3 m sucessivos, se obtiver 30 golpes para penetração de 15 cm iniciais do amostrador-padrão;
- b) Quando, em 4 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para penetração dos 30 cm iniciais do amostrador-padrão; e
- c) Quando, em 5 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para a penetração dos 45 cm do amostrador-padrão.

Schnaid e Odebrecht (2012) informam que existem ainda duas outras representações, para solos moles ou solos muito resistentes. Para o caso de solos moles, é possível que a penetração de apenas um golpe exceda os 15 cm iniciais, sendo assim, é registrado o número de golpes com a penetração compatível, como por exemplo, 1/45, um golpe para 45 cm de penetração. No caso do solo ser muito resistente, será contabilizado o número de golpes com a penetração respectiva,

sendo limitado o número de golpes afim de preservar o material, como roscas e hastes.

3.4 ENSAIOS EM LABORATÓRIO

Após a realização do ensaio SPT e da retirada de amostras para a realização de ensaios em laboratório foi levado em consideração as seguintes normas, de acordo a com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas): NBR 6457 (1986) – Preparação de amostras de solo para ensaio normal de compactação e ensaios de caracterização – Método de ensaio; NBR 7181 (1984) – Solo – Análise Granulométrica – Método de ensaio; NBR 6458 (2016) – Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água.

3.4.1 Umidade Natural do solo

Com as amostras no laboratório foram retiradas amostrar a fim de determinar a umidade natural do solo, para isso foi retirada porções de cada amostra, e pesado antes (peso da amostra + tara + água) (k) e após 24 horas dentro da estufa (peso da amostra + tara) (l). Assim utilizando a Equação 3 é possível determinar a quantidade de água presente em cada amostra.

$$n = k - l \quad (3)$$

Onde:

n = peso da água (g);

k = peso da cápsula + solo úmido (g);

l = peso da cápsula + solo seco (g).

Para a determinação do solo seco foi utilizada a Equação 4, onde foi determinado o peso do solo seco.

$$o = l - m \quad (4)$$

Onde:

o = peso do solo seco (g);

l = peso da cápsula + solo seco (g);

m = peso da cápsula (g).

Por fim, para determinar a umidade do solo foi utilizada a Equação 5.

$$h = \frac{n}{o} \quad (5)$$

Onde:

h = umidade (%);

n = peso da água (g);

o = peso do solo seco (g).

Feito isso, todo o material coletado, conforme a NBR 6457 (1986) foi colocado para secar ao ar, até próximo da umidade higroscópica, as amostras ficaram em torno de uma semana no laboratório, após isso, foi iniciada a etapa de desmanchar os torrões, conforme demonstra a Figura 12, sendo evitado a quebra de grãos. Foi feita a verificação do material passante na peneira nº 4 (4,8 mm), não foi retido nenhum material, assim, as amostras foram classificadas como agregado miúdo, o material passou 100% também na peneira nº 10 (2,0 mm).

Figura 12 - Desmanche dos torrões



Fonte: Autoria própria.

3.4.2 Ensaio de Sedimentação

O próximo passo foi preparar as amostras para o ensaio de sedimentação, conforme a NBR 7181 (1984), para algumas amostras este ensaio não foi realizado devido a baixa quantidade de material ou pela péssima qualidade do material, como por exemplo, resíduos da construção civil, como por exemplo, argamassas e cimento, os quais foram encontrados no primeiro metro do ensaio.

Para o ensaio de sedimentação foram utilizadas amostras com cerca de 90 gramas, o valor retirado foi preenchido na tabela com a referência peso úmido (g),

após anotado o peso da amostra, ela foi colocada em um recipiente (copo béquer) onde foi adicionado 125 ml de defloculante que juntos permaneceram 24 horas em repouso até o início do ensaio de sedimentação.

A próxima etapa foi colocar o material que estava em repouso no aparelho de dispersão, conforme demonstra a Figura 13, com auxílio de água foi removido todo do material do copo béquer e acondicionado no copo de dispersão, adicionado água e foi submetido a ação do aparelho dispersor por 15 minutos.

Figura 13 - Aparelho de dispersão



Fonte: Autoria própria.

Ainda conforme a NBR 7181 (1984), após os 15 minutos o material foi retirado do copo dispersor com auxílio de água e transferido para proveta, na proveta foi

adicionado água até a marca de 1000 cm³, conforme demonstrado na Figura 14, logo após foi tapado com uma luva a boca da proveta, e ela foi agitada durante um minuto. Imediatamente após ser agitada, a proveta foi colocada sobre a bancada, sendo anotado o horário exato do início da sedimentação, colocando o densímetro dentro da proveta foi possível retirar as leituras, as leituras no densímetro foram retiradas nos seguintes tempos, 0,5, 1, 2, 4, 8, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 8 e 24 horas, a partir do início da sedimentação. Após cada leitura com exceção das duas primeiras, foi medido a temperatura da dispersão.

Figura 14 – Proveta



Fonte: Autoria própria.

Após a última leitura, todo o material de dentro da proveta foi vertido na peneira nº 200 (0,075mm), o material retido na parede da proveta foi removido com auxílio de água e foi realizada a lavagem do material na peneira mencionada. O material retido na peneira 0,075 mm foi colocado em um capsula e levado para a estufa, à temperatura de 105 graus Celsius permaneceu por pelo menos 24 horas. Após seco, o material foi submetido as peneiras de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,075 mm, conforme a Figura 15, e pesado o material retido em cada peneira.

Figura 15 - Conjunto de peneiras



Fonte: Autoria própria.

Para calcular a *Massa total da amostra seca*, de acordo com a NBR 7181 (1984), foi utilizada a seguinte Equação 6:

$$M_s = \frac{(M_t - M_g)}{(100 + h)} \times 100 + M_g \quad (6)$$

Onde:

M_s = massa total da amostra seca;

M_t = massa da amostra seca ao ar;

M_g = massa do material seco retido na peneira de 2,0mm;

h = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0mm.

Para as *Porcentagens de materiais que passam nas peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8, 2,0 mm* foi calculado baseado na Equação 7:

$$Q_g = \frac{(M_s - M_i)}{M_s} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

Q_g = porcentagem de material passado em cada peneira;

M_s = massa total da amostra;

M_i = massa do material retido acumulado em cada peneira.

Para o cálculo das *Porcentagens de material em suspensão*, correspondentes a cada leitura do densímetro foi utilizada pela Equação 8, sendo que para efeitos de cálculos utilizar, $\delta_d = 1,000 \text{ g/cm}^3$; $V = 1,000 \text{ cm}^3$ e $\delta_c = 1,000 \text{ g/cm}^3$:

$$Q_s = N \times \frac{\delta}{(\delta - \delta_d)} \times \frac{V \delta_c (L - L_d)}{\frac{M_h}{(100 + h)} \times 100} \quad (8)$$

Onde:

Q_s = porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro;

N = porcentagem de material que passa na peneira de 2,0mm, calculando conforme indicado na expressão acima;

δ = massa específica dos grãos do solo, em g/cm³;

δ_d = massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em g/cm³;

V = volume da suspensão, em cm³;

δ_c = massa específica da água, à temperatura de calibração do densímetro (20°C), em g/cm³;

L = leitura do densímetro na suspensão

L_d = leitura do densímetro no meio dispersor, na mesma temperatura da suspensão;

M_h = massa do material úmido submetido à sedimentação, em g;

h = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm.

Para calcular o *Diâmetro das partículas de solo em suspensão*, foi utilizada a seguinte Equação 9, sendo que para efeitos de cálculo $\delta_d=1,000$ g/cm³ e μ correspondente ao coeficiente de viscosidade da água:

$$d = \sqrt{\frac{1800\mu}{\delta - \delta_d} \times \frac{a}{t}} \quad (9)$$

Onde:

d= diâmetro máximo das partículas, em mm;

n= coeficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em g x s/cm²;

a = altura de quedas das partículas, correspondente à leitura do densímetro;

t = tempo de sedimentação, em s;

δ = massa específica dos grãos do solo, determinada de acordo com a NBR 6508, em g/cm³;

δ_d = massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, g/cm³.

Para calcular *Porcentagem de materiais que passam nas peneiras de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075 mm*, foi utilizada a seguinte Equação 10:

$$Q_f = \frac{M_h \times 100 - M_i(100 + h)}{M_h \times 100} \times N \quad (10)$$

Onde:

Q_f = porcentagem de material passado em cada peneira;

M_h = massa do material úmido submetido ao peneiramento fino ou à sedimentação, conforme o ensaio tenha sido realizado;

h = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm;

M_i = massa do material retido acumulado em cada peneira;

N = porcentagem de material que passa na peneira de 2,0mm, conforme indicado em *Porcentagens de materiais que passam nas peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8, 2,0 mm*.

3.4.3 Umidade higroscópica

Este ensaio foi realizado em conjunto com o ensaio de sedimentação, o procedimento é normatizado pela ABNT NRB 6457 (1986), para amostra coletada foi pego duas cápsulas com aproximadamente 80 gramas cada, inicialmente foi retirado a tara do recipiente (em gramas), após foi pesado o solo (peso da amostra + tara + água), feito isto o material foi levado para estufa à temperatura de 105 °C onde permaneceu por no mínimo 24 horas, então foi novamente pesado o solo (peso amostra + tara), o resultado obtida da diferença entre as duas pesagens é o peso d'água (em gramas), como também a diferença entre a pesagem (peso amostra + tara) menos a tara do recipiente é o peso do solo seco (em gramas), com base desses dados foi possível determinar a umidade higroscópica utilizando a Equação 11:

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

h = teor de umidade, em %;

M_1 = massa do solo úmido mais a massa do recipiente, em g;

M_2 = massa do solo seco mais a massa do recipiente, em g;

M_3 = massa do recipiente (cápsula metálica), em g.

3.4.4 Massa específica real

Para determinar a massa específica dos grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm, por meio de picnômetro de acordo com a ABNT NBR 6458 (2016), foi utilizado um picnômetro, onde foi colocado cerca de 105 gramas da amostra de solo para a realização de cada ensaio, juntamente foi adicionado água até metade do volume do picnômetro, o material foi imergido em uma panela com água até ferver e a água presente no picnômetro mergulhar, feito isso, o picnômetro foi ligado a bomba de vácuo por 15 minutos para que todo o ar saísse do picnômetro, após passado 15 minutos a amostra foi emergida em um balde com água para atingir a temperatura de 40°C, após atingida essa temperatura, foi adicionado água até a marca de calibração do picnômetro, em seguida foi enxugado a parte externa do picnômetro e a amostra foi pesada (picnômetro + amostra + água), o procedimento foi repetido para as temperaturas de 30°C e 20°C, o resultado foi obtido através da Equação 12:

$$\delta = \frac{M_1 \times 100 / (100 + h)}{[M_1 \times 100 / (100 + h)] + M_3 - M_2} \times \delta_T \quad (12)$$

Onde:

δ = massa específica dos grãos do solo, g/cm;

M_1 = massa do solo úmido;

M_2 = massa do picnômetro + solo + água, na temperatura T de ensaio;

M_3 = massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência, na temperatura T de ensaio;

h = umidade inicial da amostra;

δ_T = massa específica da água, na temperatura T de ensaio, obtida na tabela 5.

Tabela 5 - Massa específica da água, em g/cm³

°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
20	0,9982	0,9982	0,9982	0,9982	0,9981	0,9981	0,9981	0,9981	0,9981	0,998
30	0,9957	0,9956	0,9956	0,9956	0,9956	0,9955	0,9955	0,9955	0,9954	0,9954
40	22									

Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado os resultados determinados pela Empresa SM estacas a qual foi responsável pelo ensaio SPT, e os resultados encontrados a partir dos ensaios realizados em laboratório.

4.1 ENSAIO SPT

O ensaio como já dito anteriormente foi realizado pela a empresa SM estacas, sendo acompanhado pelos engenheiros da obra e por mim (estagiário), na busca de suavizar possíveis falhas técnicas.

4.1.1 Sondagem STP1

Para a realização da sondagem, a equipe foi composta por 2 integrantes da empresa SM estacas, esse ensaio ocorreu do dia 29 de agosto de 2017, pela tarde na manhã o dia estava ensolarado, a profundidade alcançada de cravação foi de 3m. A Figura 16 demonstra o solo retirado para análise em laboratório, 3m/1 indica que na profundidade de 3m foi encontrado dois tipos de solos e conforme o item 3.3, a figura relata que foram necessários 28 golpes para penetrar os primeiros 15 cm e 28 golpes para penetrar 8 cm.

Figura 16 - Solo retirado da sondagem 01

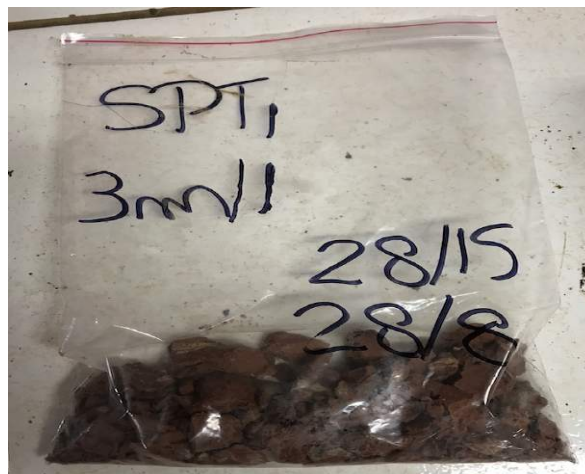


Figura 17 - Resultado da Sondagem do ensaio SPT1

Fonte: SM estacas (2017).

4.1.2 Sondagem SPT2

Esse ensaio foi realizado no mesmo dia do primeiro ensaio, entretanto no período vespertino, sendo seguido os mesmos parâmetros do item 4.1.1. A Figura 18, relata os resultados obtidos no segundo ensaio SPT. A profundidade final dessa sondagem foi de 5 metros.

Figura 18 - Resultados da Sondagem do ensaio SPT2

										Cliente: CONSTRUTORA JOBIN LTDA. Obra: RESIDENCIAL ESPIRITO SANTO Local: VENANCIO AIRES 125 SANTA MARIA RS															
Relatório de Sondagem Nº 17985																									
Furo SP 2		Cota 100,00																							
SPT - Standart Penetration Test Camadas - Classificação dos solos																									
30 cm finais		30 cm iniciais																							
10		20		30		40																			
Revestimento		Método cravação		Cota relação R.N.		Cota do N.A.		Nº de golpes / penetração		Índice SPT final 30cm		Amostrador		Prof. Camadas (m)											
III		95		90		85		80		75		70		65		argila silteosa pouco plastica cor cinza consist média areia argilosa cor amarela poucos rajados cinza consistência fofa silte pouco argiloso cor vermelha uniforme consistência compacta silte pouco argiloso cor vermelha uniforme consistência muito compacta ↑ Limite da sondagem 10 min lavagem 10 min lavagem 10 min lavagem									
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80		75		70		65													
95		90		85		80																			

Fonte: SM estacas (2017)

4.1.3 Sondagem SPT3

Diferente dos ensaios anteriores, para a sondagem 03 a equipe estava composta por 3 integrantes, essa diferença ocorreu devido ao fato do ensaio ser muito cansativo para ser realizado apenas por dois integrantes, conforme os mesmos relataram, o ensaio foi realizado do dia 2 de setembro de 2017, a Figura 19 relata os resultados obtidos no terceiro ensaio SPT.

Figura 19 - Resultados da Sondagem do ensaio SPT3

[illegible]

Fonte: SM Estacas (2017).

4. 2 ENSAIOS REALIZADOS NO LABORATÓRIO

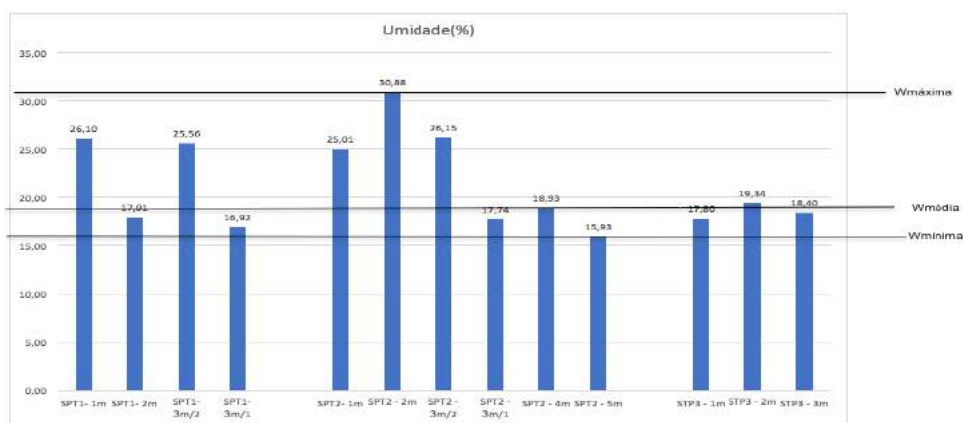
Na Tabela 6 foi confeccionada a partir do item 3.4.1, apresentando os resultados obtidos da umidade natural de cada uma das amostras. As amostras estavam devidamente acondicionadas para que se encontrasse de maneira mais próxima possível a umidade presente no solo quando foram retiradas as amostras.

Tabela 6 - Umidade natural das amostras retiradas do ensaio SPT

Amostras	Tara	Peso Tara(g)	Peso cápsula + solo úmido (g)	Peso cápsula + solo seco (g)	Peso água(g)	Peso solo seco (g)	Umidade(%)
SPT1- 1m	81	10,86	85,94	70,40	15,54	59,54	26,10
SPT1- 2m	105	19,32	107,99	94,52	13,47	75,20	17,91
SPT1- 3m/2	102	12,89	101,89	83,77	18,12	70,88	25,56
SPT1- 3m/1	104	24,88	101,08	90,05	11,03	65,17	16,92
SPT2- 1m	83	17,94	104,47	87,16	17,31	69,22	25,01
SPT2 - 2m	82	11,73	126,09	99,11	26,98	87,38	30,88
SPT2 - 3m/2	103	14,09	102,17	83,91	18,26	69,82	26,15
SPT2 - 3m/1	103	10,89	103,08	89,19	13,89	78,30	17,74
SPT2 - 4m	28	18,38	114,37	99,09	15,28	80,71	18,93
SPT2 - 5m	90	14,65	70,82	63,10	7,72	48,45	15,93
STP3 - 1m	103	14,11	88,16	76,97	11,19	62,86	17,80
STP3 - 2m	102	12,83	104,63	89,75	14,88	76,92	19,34
STP3 - 3m	104	24,89	106,74	94,02	12,72	69,13	18,40

Fonte: Autoria própria.

Figura 20 - Gráfico da umidade natural das amostras



Fonte: Autoria própria.

4.2.1 Ensaio SPT1 – 1m

Após verificado que todo material passou pela peneira nº 4 foram realizados os ensaios de sedimentação, determinação massa específica real e determinação da umidade higroscópica.

De acordo com o item 3.4.3 foi determinada a umidade higroscópica, 3,93%, logo após foi possível determinar a massa específica real de grãos da amostra, conforme o item 3.4.4, onde a Tabela 8 demonstra os resultados obtidos.

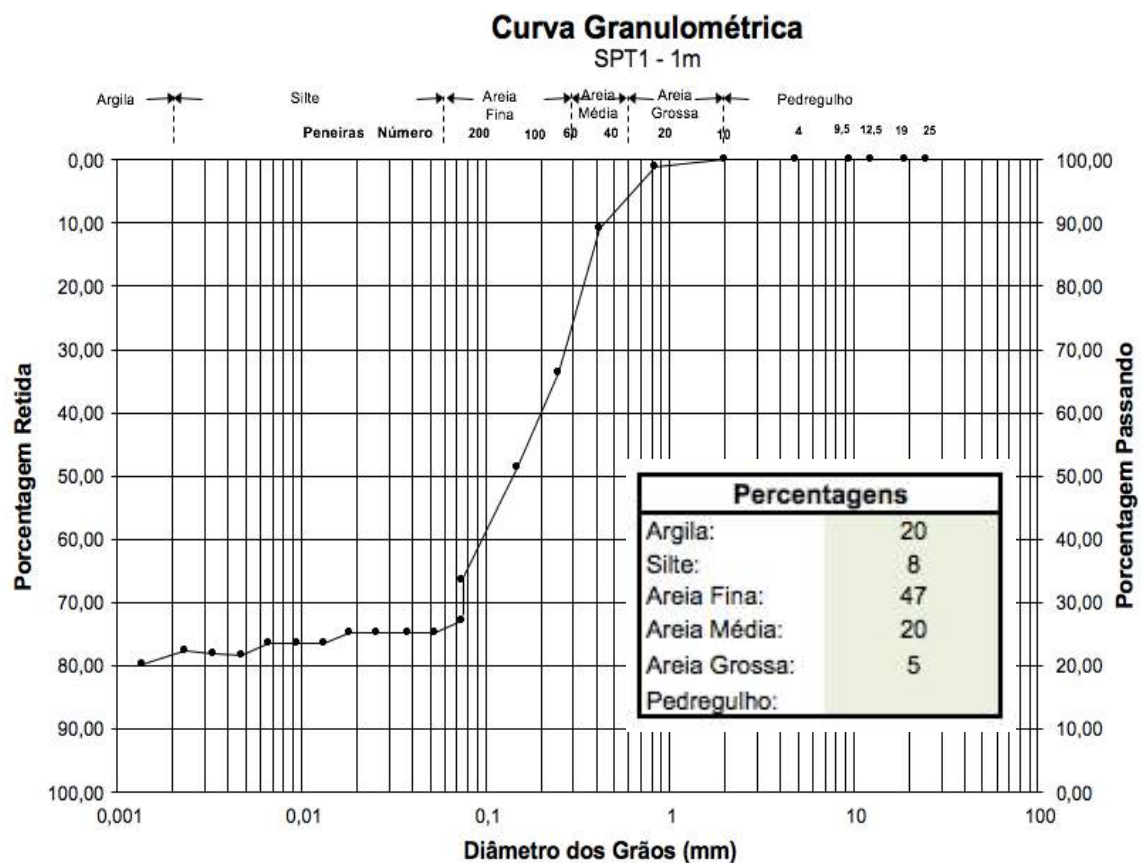
Tabela 7 - Massa Específica Real da amostra SPT1 – 1m

Determinação da massa específica dos solos			
Determinação:	1	2	3
Peso solo úmido (g):	105,07	105,07	105,07
Picnômetro+solo+água (g):	738,50	740,19	741,41
Temperatura (°C):	40,0	30,0	20,0
Picnômetro + água (g):	673,408	675,211	676,454
Peso solo seco (g):	101,098	101,098	101,098
Massa esp. água à T °C (g/cm³)	0,9921	0,9956	0,9982
Massa esp. dos sólidos (g/cm³):	2,786	2,787	2,792
Massa específica dos sólidos médio (g/cm³):			2,788

Fonte: Autoria Própria.

Com valor encontrado da massa específica, e os valores encontrados no ensaio de sedimentação e peneiramento, conforme item 3.4.2, foi gerada a curva granulométrica da amostra e de onde foram extraídas as percentagens de cada material.

Figura 21 - Curva Granulométrica da amostra SPT1 – 1m



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a partir dos ensaios realizados em laboratório, e de acordo com o gráfico da Figura 21 pode-se classificar essa amostra como: areia fina e média argilosa.

4.2.2 Ensaio SPT1 – 2 m

Ensaio ocorreu de mesma maneira conforme o item 4.2.1.

Com a umidade higroscópica 3,90% e conforme o item 3.4.4 foi possível determinar a massa específica real da amostra, a Tabela 13 demonstra o resultado encontrado.

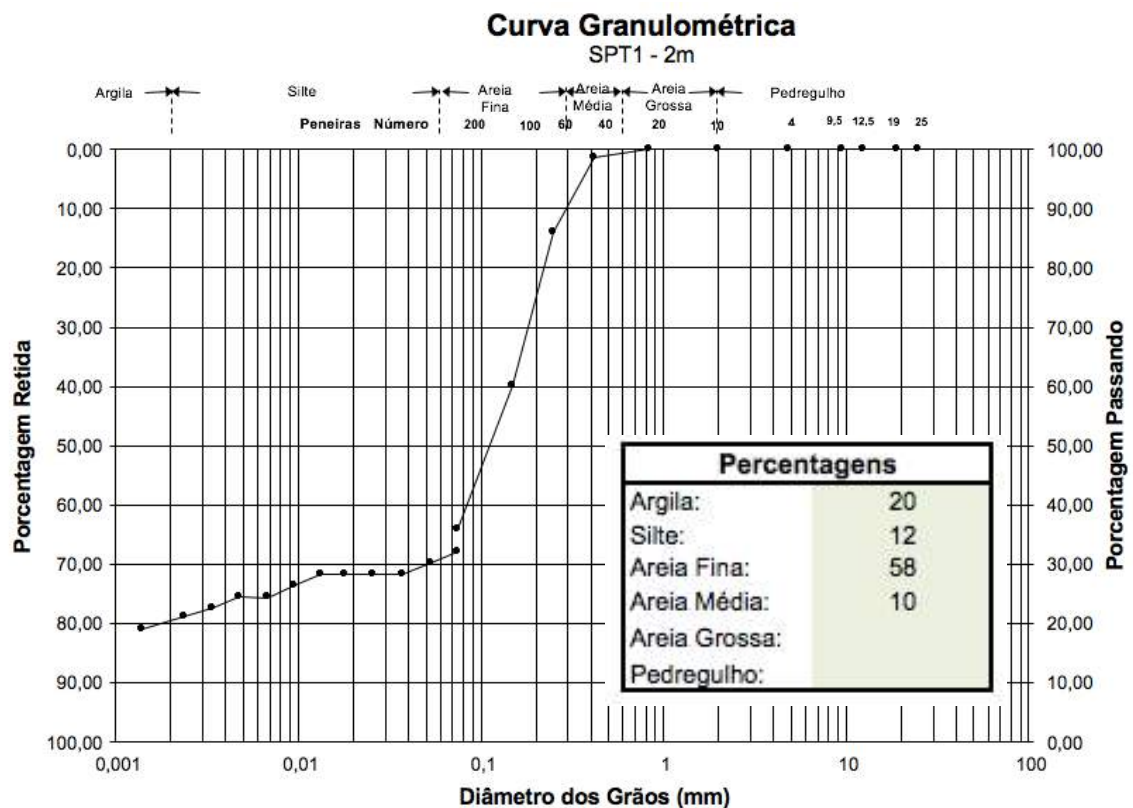
Tabela 8 - Massa específica Real da amostra SPT1 – 2m

Determinação da massa específica dos solos			
Determinação:	1	2	3
Peso solo úmido (g):	105,47	105,47	105,47
Picnômetro+solo+água (g):	738,46	739,87	741,14
Temperatura (°C):	40,0	30,0	20,0
Picnômetro + água (g):	673,408	675,211	676,454
Peso solo seco (g):	101,515	101,515	101,515
Massa esp. água á T °C (g/cm³)	0,9921	0,9956	0,9982
Massa esp. dos sólidos (g/cm³):	2,762	2,742	2,751
Massa específica dos sólidos médio (g/cm³):			2,752

Fonte: Autoria Própria.

Com valor encontrado da massa específica, e os valores encontrados no ensaio de sedimentação e peneiramento, conforme item 3.4.2, foi gerada a curva granulométrica da amostra e foi retirada as percentagens de cada material.

Figura 22 - Curva Granulométrica da amostra SPT1 – 2m



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a partir dos ensaios realizados em laboratório e de acordo com o gráfico da Figura 22, pode-se classificar essa amostra como: areia fina argilosa.

4.2.3 Ensaio SPT1 - 3m/2

Esse ensaio foi classificado assim devido ao fato de na profundidade de 3m foi encontrado dois tipos de solo conforme sua coloração, então o Ensaio SPT1 – 3m/2 é a amostra que está mais próximo da superfície e o Ensaio SPT1 – 3m/1 está com a amostra mais próxima do amostrador padrão.

A partir da umidade higroscópica 2,62%, determinada de acordo com o item 3.4.3, foi possível determinar a massa específica real, conforme o item 3.4.4, a Tabela 18 demonstra os valores encontrados.

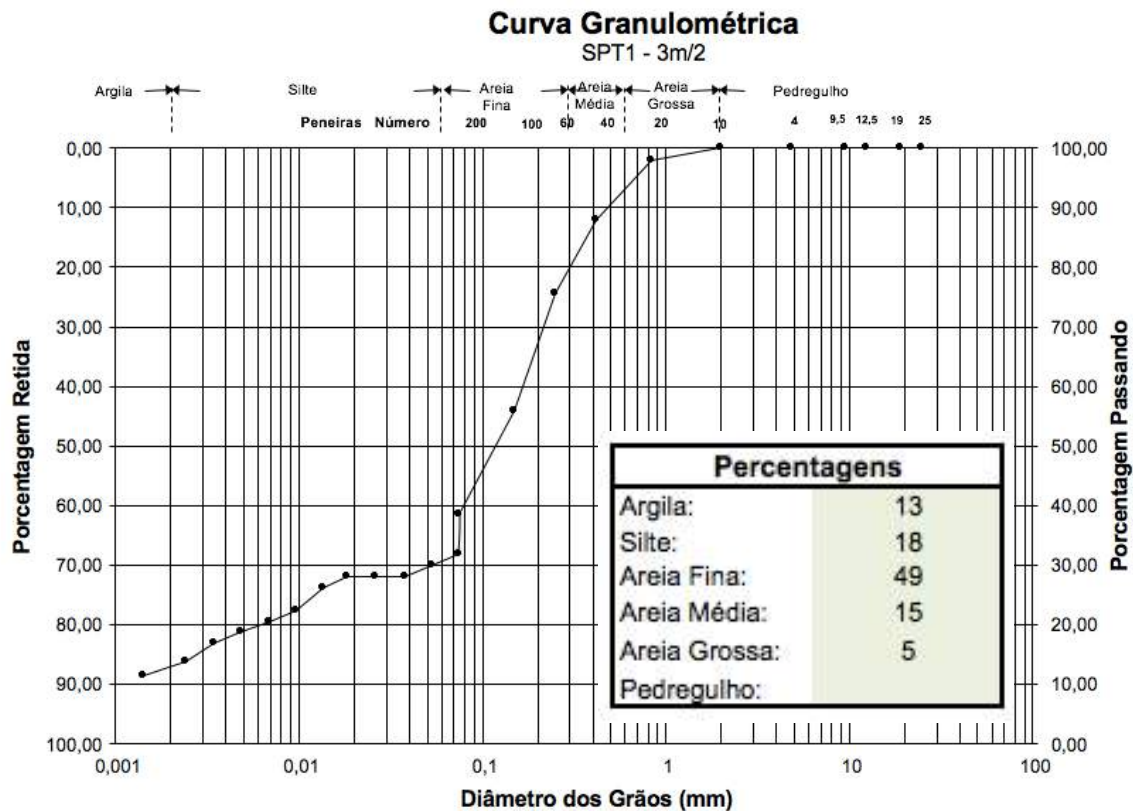
Tabela 9 - Massa Específica Real da amostra SPT1 – 3m/2

Determinação da massa específica dos solos			
Determinação:	1	2	3
Peso solo úmido (g):	108,32	108,32	108,32
Picnômetro+solo+água (g):	740,81	742,40	743,44
Temperatura (°C):	40,0	30,0	20,0
Picnômetro + água (g):	673,408	675,211	676,454
Peso solo seco (g):	105,554	105,554	105,554
Massa esp. água a T °C (g/cm³)	0,9921	0,9956	0,9982
Massa esp. dos sólidos (g/cm³):	2,745	2,739	2,732
Massa específica dos sólidos médio (g/cm³):			2,739

Fonte: Autoria Própria.

Com valor encontrado da massa específica, e os valores encontrados no ensaio de sedimentação e peneiramento, conforme item 3.4.2, foi gerada a curva granulométrica da amostra e foi retirada as percentagens de cada material.

Figura 22 – Curva Granulométrica da amostra SPT1 – 3m/2



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a partir dos ensaios realizados em laboratório e de acordo com o gráfico da Figura 22, pode-se classificar essa amostra como: areia fina siltosa.

4.2.4 Ensaio SPT1 – 3m/1

Conforme dito anteriormente essa amostra estava mais próximo do amostrador padrão, o ensaio foi realizado seguindo os mesmos procedimentos do item 4.2.1.

Com a umidade higroscópica de 3,13%, e conforme o item 3.4.4, foi possível determinar a massa específica real, a Tabela 10 apresenta o resultado obtido.

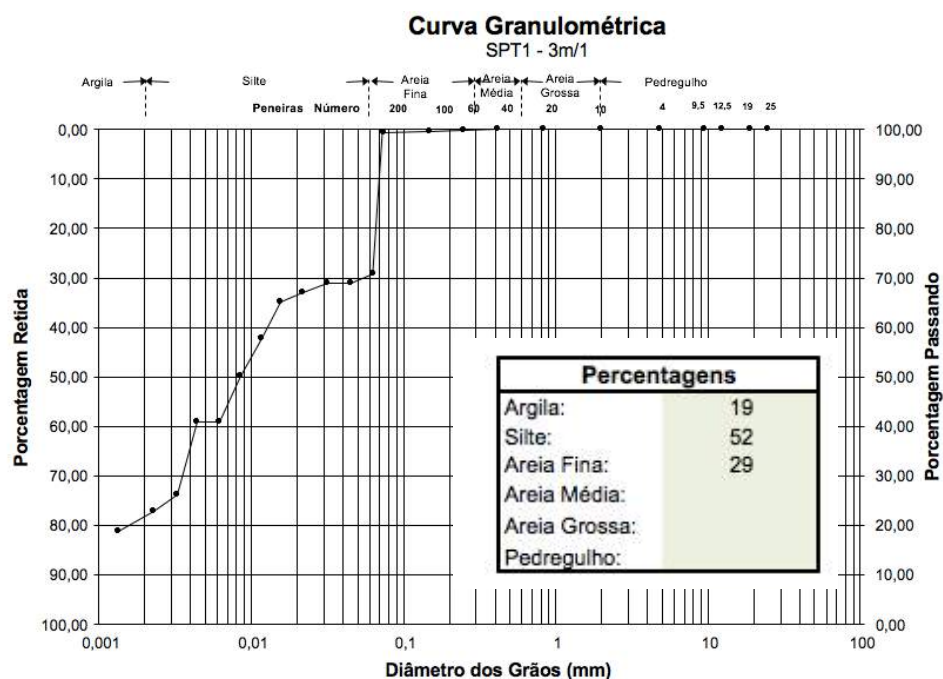
Tabela 10 – Massa Específica Real da amostra SPT1 – 3m/1

Determinação da massa específica dos solos			
Determinação:	1	2	3
Peso solo úmido (g):	106,47	106,47	106,47
Picnômetro+solo+água (g):	740,88	741,90	742,70
Temperatura (°C):	40,0	30,0	20,0
Picnômetro + água (g):	673,408	675,211	676,454
Peso solo seco (g):	103,243	103,243	103,243
Massa esp. água á T °C (g/cm³)	0,9921	0,9956	0,9982
Massa esp. dos sólidos (g/cm³):	2,863	2,812	2,786
Massa específica dos sólidos médio (g/cm³):	2,820		

Fonte: Autoria Própria.

Com valor encontrado da massa específica, e os valores encontrados no ensaio de sedimentação e peneiramento, conforme item 3.4.2, foi gerada a curva granulométrica da amostra e foi retirada as percentagens de cada material.

Figura 23 - Curva Granulométrica da amostra SPT1 – 3m/1



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a partir dos ensaios realizados em laboratório e de acordo com o gráfico da Figura 23, pode-se classificar essa amostra como: silte arenoso.

4.2.5 Ensaio SPT2 – 2m

Para o segundo ensaio, devido a grande quantidade de resíduos de construção civil, a amostra do primeiro metro perfurado não pode ser realizado ensaios de laboratório, sendo assim, os ensaios foram iniciados pela amostra de profundidade de 2 metros.

Com a umidade higroscópica de 3,10 % determinada, e conforme o item 3.4.4 foi determinada a massa específica real, conforme apresenta a Tabela 22.

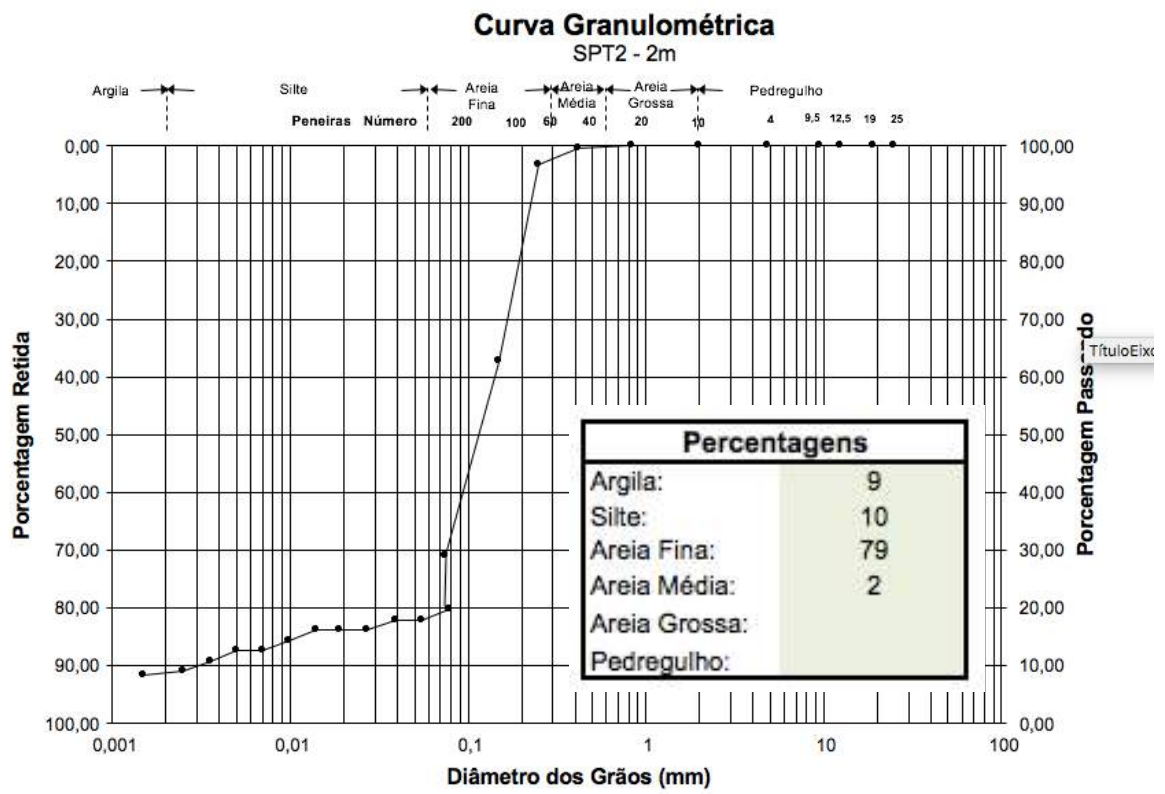
Tabela 11 – Massa Especifica Real da amostra SPT2 – 2m

Determinação da massa específica dos solos			
Determinação:	1	2	3
Peso solo úmido (g):	106,15	106,15	106,15
Picnômetro+solo+água (g):	738,12	739,97	740,80
Temperatura (°C):	40,0	30,0	20,0
Picnômetro + água (g):	673,408	675,211	676,454
Peso solo seco (g):	102,962	102,962	102,962
Massa esp. água á T °C (g/cm³)	0,9921	0,9956	0,9982
Massa esp. dos sólidos (g/cm³):	2,670	2,683	2,662
Massa específica dos sólidos médio (g/cm³):			2,672

Fonte: Autoria Própria.

Com valor encontrado da massa específica, e os valores encontrados no ensaio de sedimentação e peneiramento, conforme item 3.4.2, foi gerada a curva granulométrica da amostra e foi retirada as percentagens de cada material.

Figura 24 - Curva Granulométrica da amostra SPT2 – 2m



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a partir dos ensaios realizados em laboratório e de acordo com o gráfico da Figura 24, pode-se classificar essa amostra como: areia fina siltosa.

4.2.6 Ensaio SPT2 – 3m/2

Esse ensaio levou essa nomenclatura pois na profundidade de 3 metros apareceu na amostra duas colorações no solo, então foi dividida em duas partes para a realização dos ensaios, sendo 3m/2 mais próximo da superfície e 3m/1 mais próximo do amostrador padrão.

Com a umidade higroscópica de 2,29%, foi possível determinar a massa específica real da amostra, a Tabela 33 demonstra a massa específica real da amostra conforme item 3.4.4

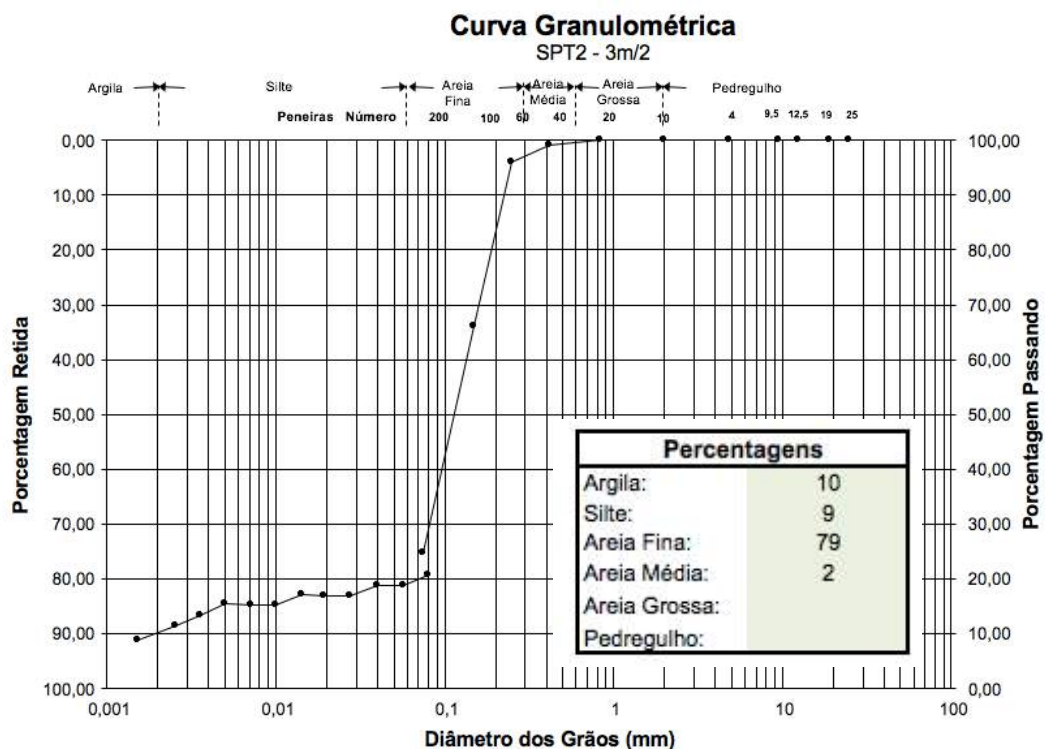
Tabela 12 - Massa Específica Real da amostra SPT2 – 3m/2

Determinação da massa específica dos solos			
Determinação:	1	2	3
Peso solo úmido (g):	107,17	107,17	107,17
Picnômetro+solo+água (g):	738,75	740,32	741,35
Temperatura (°C):	40,0	30,0	20,0
Picnômetro + água (g):	673,408	675,211	676,454
Peso solo seco (g):	104,768	104,768	104,768
Massa esp. água à T °C (g/cm³)	0,9921	0,9956	0,9982
Massa esp. dos sólidos (g/cm³):	2,636	2,630	2,623
Massa específica dos sólidos médio (g/cm³):			2,630

Fonte: Autoria Própria.

Com a massa específica determinada e com os valores do ensaio de sedimentação, de acordo com o item 3.4.2, foi gerada a curva granulométrica da amostra e retirada a percentagem de cada material, a Figura 25 apresenta a curva granulométrica e a percentagem de cada material.

Figura 25 - Curva Granulométrica da amostra SPT2 – 3m/2



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a partir dos ensaios realizados em laboratório e de acordo com o gráfico da Figura 25, pode-se classificar essa amostra como: areia fina argilosa.

4.2.7 Ensaio SPT2 – 3m/1

Conforme dito anteriormente a nomenclatura 3m/1, refere-se a amostra de profundidade 3 metros mais próxima do amostrador padrão.

Com a umidade higroscópica 1,78% foi determinada a massa específica real da amostra, conforme o item 3.4.4, a Tabela 13 apresenta o valor encontrado da massa específica real.

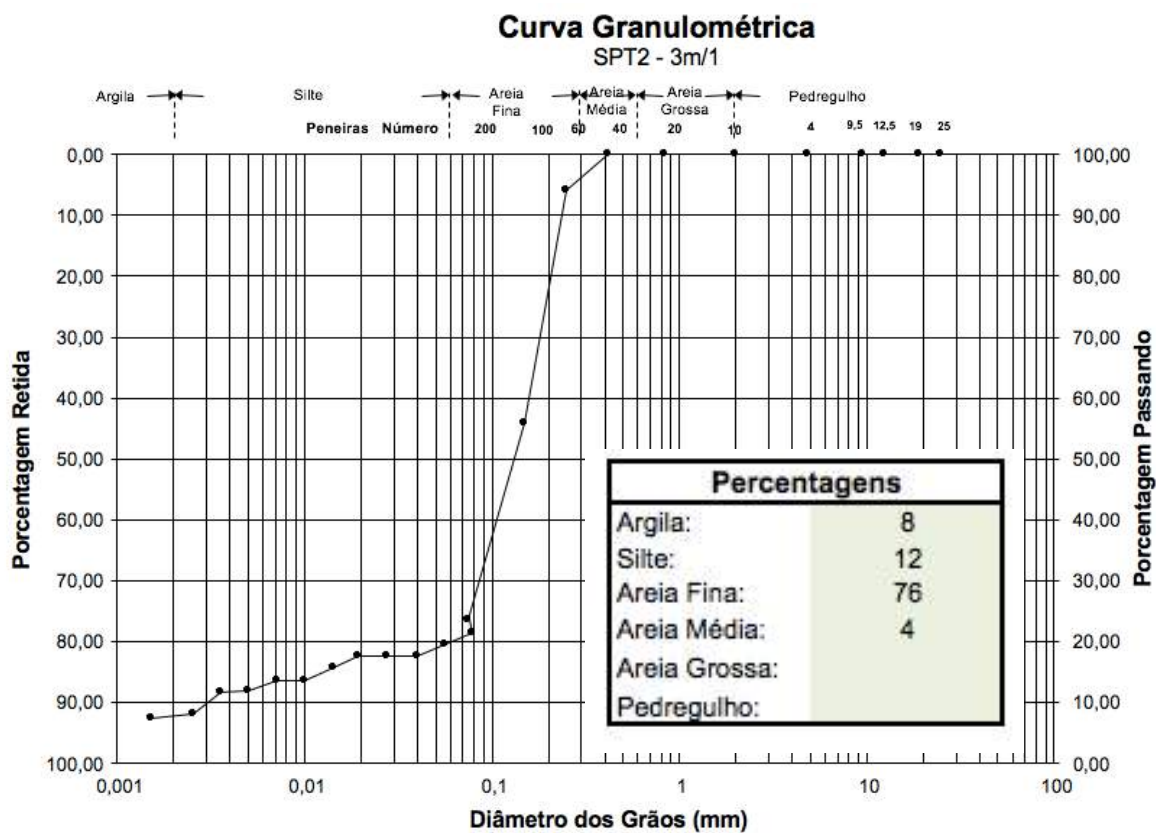
Tabela 13 - Massa Específica Real da amostra STP2 – 3m/1

Determinação da massa específica dos solos			
Determinação:	1	2	3
Peso solo úmido (g):	106,29	106,29	106,29
Picnômetro+solo+água (g):	738,84	740,01	741,26
Temperatura (°C):	40,0	30,0	20,0
Picnômetro + água (g):	673,408	675,211	676,454
Peso solo seco (g):	104,426	104,426	104,426
Massa esp. água à T °C (g/cm³)	0,9921	0,9956	0,9982
Massa esp. dos sólidos (g/cm³):	2,657	2,624	2,631
Massa específica dos sólidos médio (g/cm³):			2,637

Fonte: Autoria Própria.

Com a massa específica determinada e com os valores do ensaio de sedimentação e peneiramento, de acordo com o item 3.4.2, foi gerada a curva granulométrica da amostra e retirada a percentagem de cada material, a Figura 26 apresenta a curva granulométrica e a percentagem de cada material.

Figura 26 - Curva Granulométrica da amostra STP2 – 3m/1



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a partir dos ensaios realizados em laboratório e de acordo com o gráfico da Figura 26, pode-se classificar essa amostra como: areia fina siltosa.

4.2.8 Ensaio SPT2 – 4m

Os mesmos procedimentos adotados no item 4.2.1, foram adotados para essa amostra.

Com a umidade higroscópica 1,61%, foi determinada a massa específica real da amostra conforme item 3.4.4.

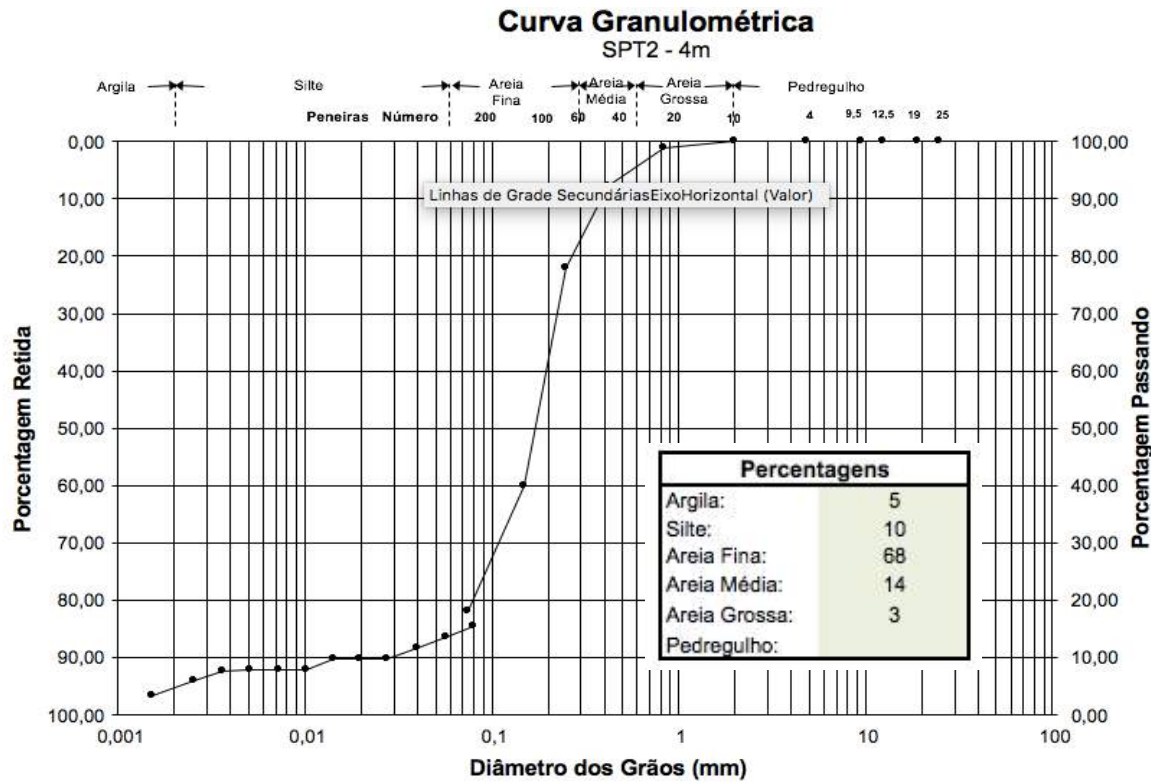
Tabela 14 - Massa Específica Real da amostra SPT2 – 4m

Determinação da massa específica dos solos			
Determinação:	1	2	3
Peso solo úmido (g):	106,54	106,54	106,54
Picnômetro+solo+água (g):	739,16	740,69	741,57
Temperatura (°C):	40,0	30,0	20,0
Picnômetro + água (g):	673,408	675,211	676,454
Peso solo seco (g):	104,847	104,847	104,847
Massa esp. água à T °C (g/cm³)	0,9921	0,9956	0,9982
Massa esp. dos sólidos (g/cm³):	2,661	2,651	2,634
Massa específica dos sólidos médio (g/cm³):			2,649

Fonte: Autoria Própria.

Com a massa específica real determinada, e com os valores do ensaio de sedimentação e peneiramento determinados conforme o item 3.4.2, foi gerado a gráfico da curva granulométrica e retirada a percentagem de cada material da amostra, conforme demonstra a Figura 27.

Figura 27 - Curva Granulométrica da amostra SPT2 – 4m



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a partir dos ensaios realizados em laboratório e de acordo com o gráfico da Figura 27, pode-se classificar essa amostra como: areia fina e média siltosa.

4.2.9 Ensaio SPT3 – 1m

Foram adotados os mesmos procedimentos adotados no item 4.2.1.

Com a umidade higroscópica de 3,43% e conforme item 3.4.4 foi determinada a massa específica real da amostra, conforme demonstra a Tabela 15.

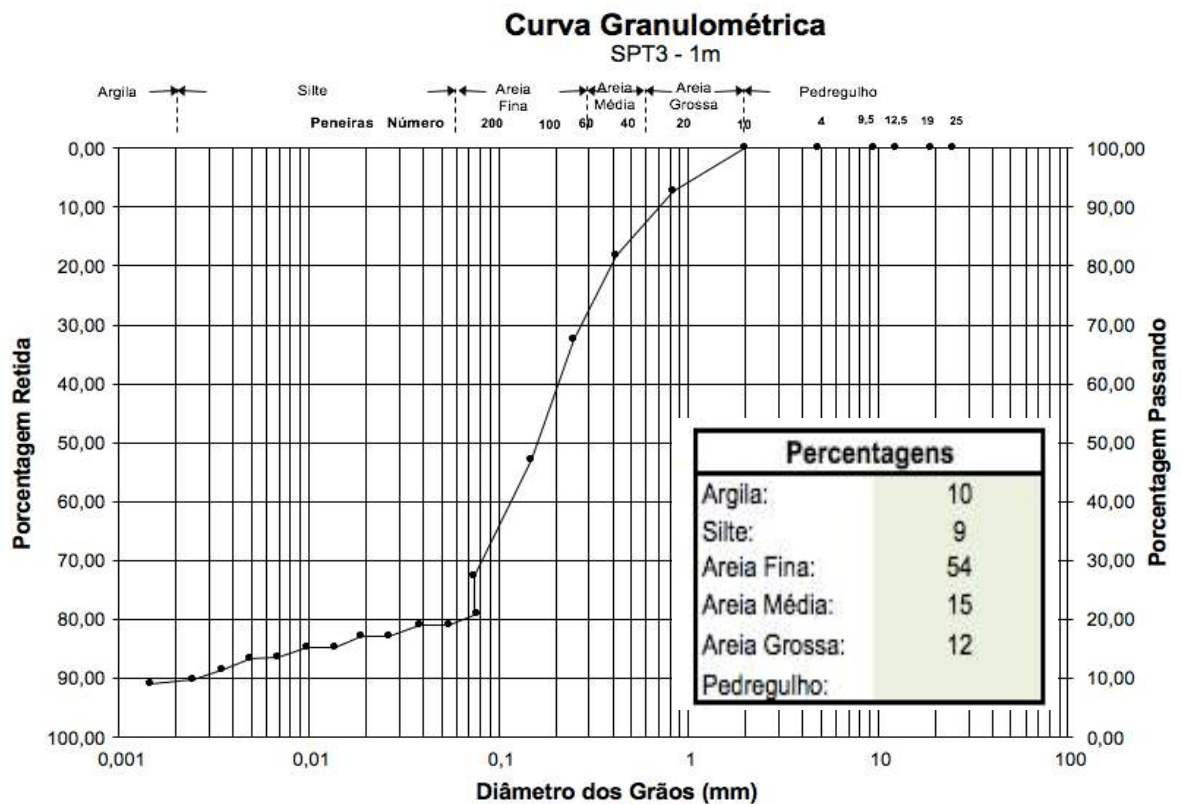
Tabela 15 - Massa Específica Real da amostra SPT3 – 1m

Determinação da massa específica dos solos			
Determinação:	1	2	3
Peso solo úmido (g):	106,16	106,16	106,16
Picnômetro+solo+água (g):	738,34	739,66	740,84
Temperatura (°C):	40,0	30,0	20,0
Picnômetro + água (g):	673,408	675,211	676,454
Peso solo seco (g):	102,639	102,639	102,639
Massa esp. água á T °C (g/cm³)	0,9921	0,9956	0,9982
Massa esp. dos sólidos (g/cm³):	2,700	2,676	2,678
Massa específica dos sólidos médio (g/cm³):			2,685

Fonte: Autoria Própria.

Com a massa específica real determinada, e com os valores do ensaio de sedimentação e peneiramento determinados conforme o item 3.4.2, foi gerado a gráfico da curva granulométrica e retirada a percentagem de cada material da amostra, conforme demonstra a Figura 28.

Figura 28 - Curva Granulométrica da amostra SPT3 – 1m



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a partir dos ensaios realizados em laboratório e de acordo com o gráfico da Figura 28, pode-se classificar essa amostra como: areia argilosa.

4.2.10 Ensaio SPT3 – 2m

Os mesmos procedimentos adotados no item 4.2.1 foram adotados para os procedimentos do ensaio dessa amostra.

Com a umidade higroscópica de 2,08% e conforme o item 3.4.4 foi determinada a massa específica real da amostra conforme demonstra a Tabela 16.

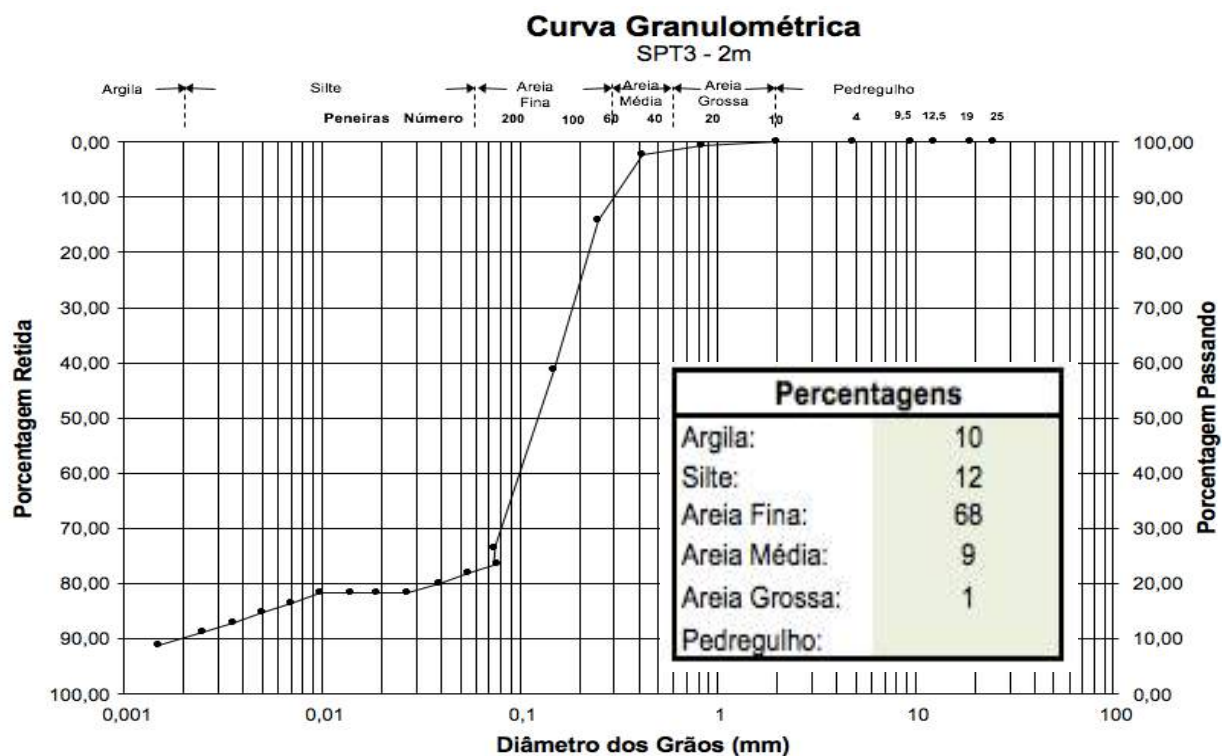
Tabela 16 - Massa Específica Real da amostra SPT3 – 2m

Determinação da massa específica dos solos			
Determinação:	1	2	3
Peso solo úmido (g):	105,81	105,81	105,81
Picnômetro+solo+água (g):	737,72	739,50	740,76
Temperatura (°C):	40,0	30,0	20,0
Picnômetro + água (g):	673,408	675,211	676,454
Peso solo seco (g):	103,657	103,657	103,657
Massa esp. água á T °C (g/cm³)	0,9921	0,9956	0,9982
Massa esp. dos sólidos (g/cm³):	2,614	2,621	2,629
Massa específica dos sólidos médio (g/cm³):	2,622		

Fonte: Autoria Própria.

Com a massa específica real determinada e com os valores do ensaio de sedimentação e peneiramento determinados conforme o item 3.4.2, foi gerada a curva granulométrica da amostra e retirada a percentagem de cada material da amostra, conforme apresenta a Figura 29.

Figura 29 - Curva Granulométrica da amostra SPT3 – 2m



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a partir dos ensaios realizados em laboratório e de acordo com o gráfico da Figura 29, pode-se classificar essa amostra como: areia fina siltosa.

4.2.11 Ensaio SPT3 – 3m

Foram adotados os mesmos procedimentos do item 4.2.1.

Com a umidade higroscópica 3,10%, e conforme o item 3.4.4 foi determinada a massa específica real da amostra sendo gerada a Tabela 17.

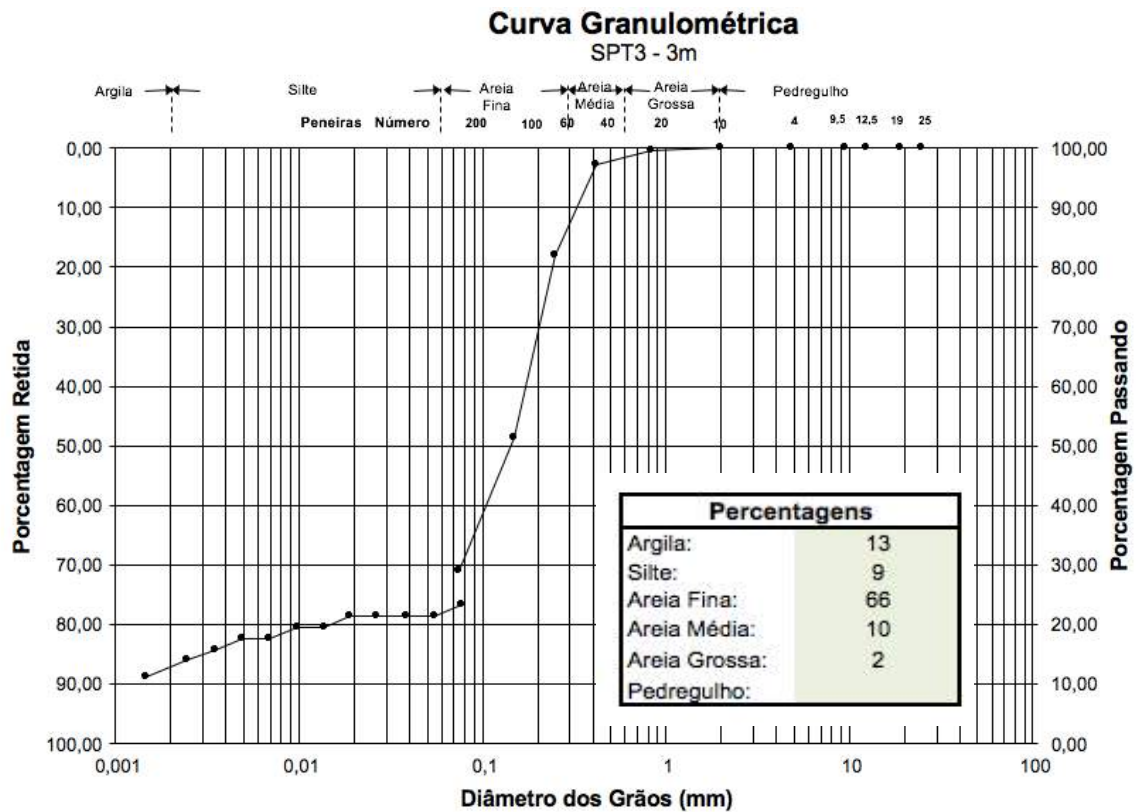
Tabela 17 - Massa Específica Real da amostra SPT3 – 3m

Determinação da massa específica dos solos			
Determinação:	1	2	3
Peso solo úmido (g):	105,06	105,06	105,06
Picnômetro+solo+água (g):	737,61	738,62	739,84
Temperatura (°C):	40,0	30,0	20,0
Picnômetro + água (g):	673,408	675,211	676,454
Peso solo seco (g):	101,904	101,904	101,904
Massa esp. água á T °C (g/cm³)	0,9921	0,9956	0,9982
Massa esp. dos sólidos (g/cm³):	2,681	2,636	2,641
Massa específica dos sólidos médio (g/cm³):	2,653		

Fonte: Autoria Própria.

Com a massa específica real determinada e com os valores do ensaio de sedimentação e peneiramento determinados conforme o item 3.4.2, foi gerada a curva granulométrica da amostra e retirada a percentagem de cada material da amostra, conforme apresenta a Figura 30.

Figura 30 - Curva Granulométrica da amostra SPT3 – 3m



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a partir dos ensaios realizados em laboratório e de acordo com o gráfico da Figura 30, pode-se classificar essa amostra como: areia fina argilosa.

A Tabela 18 demonstra um comparativo com os valores encontrados pela empresa SM estacas na realização dos ensaios no local da obra e os valores encontrados através da realização dos ensaios de laboratório.

Tabela 18 - Comparativo dos resultados encontrados

Ensaio	Profundidade	Ensaio em laboratório				Ensaio SPT
		Umidade natural do solo (%)	Umidade Higroscópica (%)	Massa Específica Real (g/cm ³)	Nomenclatura	Nomenclatura
1	1m	26,10	3,93	2,788	Areia fina argilosa	Solo orgânico cor preta arenoso consistência fofa
	2m	17,91	3,90	2,752	Areia fina argilosa	Argila cor amarela com rajados cinza pouco plástica consistência muito rijá
	3m/2	25,56	2,62	2,739	Areia fina siltosa	
	3m/1	16,92	3,13	2,820	Silte arenoso	Argila cor vermelha uniforme consistência dura
2	1m	25,01	-	-	-	Argila siltosa pouco plástica cor cinza consistência média
	2m	30,88	3,10	2,672	Areia fina siltosa	Areia argilosa cor amarela poucos rajados cinza consistência fofa
	3m/2	26,15	2,29	2,630	Areia fina argilosa	
	3m/1	17,74	1,78	2,637	Areia fina siltosa	Silte pouco argiloso cor vermelha uniforme consistência compacta
	4m	18,93	1,61	2,649	Areia fina siltosa	Silte pouco argiloso cor vermelha uniforme consistência muito compacta
	5m	15,93	-	-	-	
3	1m	17,80	3,43	2,685	Areia argilosa	Solo orgânico pouco arenoso cor preta consistência fofa
	2m	19,34	2,08	2,622	Areia fina siltosa	Areia argilosa cor amarela com poucos rajados cinza consistência fofa
	3m	18,40	3,10	2,653	Areia fina argilosa	Silte argiloso friável cor cinza uniforme consistência muito compacta

Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÃO

De maneira geral, pode-se afirmar que os ensaios realizados *in situ* estão de acordo com os ensaios realizados em laboratórios, tendo em vista que as mesmas designações utilizadas para demonstrar as frações granulométricas de um solo, são utilizadas para designar os próprios solos. Pode-se afirmar que o solo é uma argila, por apresentar comportamento de um solo argiloso, mesmo que no solo contenha partículas com diâmetros correspondentes a frações de areia.

Conforme a Figura 10, as amostras se encontram na Formação Caturrita, a qual tem como característica ter nos seus primeiros metros de solo características de solo arenoso e conforme vai aumentando a profundidade suas características mudam para de solo argiloso, com grande capacidade de carga, o que de fato com a presente pesquisa e por acompanhamento das escavações da obra, pode se chegar ao mesmo entendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457** – Preparação de amostras de solo para ensaio normal de compactação e ensaios de caracterização – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 6458** – Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6484** – Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR7180** – Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7181** – Solo – Análise Granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

BORTOLUZZI, C. A. **Contribuição à geologia da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil**. Pesquisas, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1974.

CALCAVANTE, E. do H. **Investigação Teórico-Experimental Sobre o SPT**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2002.

CINTRA, J.C.A.; AOKI N.; TSUHA C. de H.C.; GIACHETI H.L. **Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos**, 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

GERSCOIVH D.; DANZIGER B.R.; SARAMAGO R. **Contenções: teoria e aplicações em obras**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

MACIEL FILHO, C. L. **Caracterização geológica das formações sedimentares de Santa Maria, RS**. 1977. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 1977.

_____. **Carta geotécnica de Santa Maria**. Imprensa Universitária, FINEP/UFSM, Santa Maria, 1990.

ORTIGÃO, J.A.R. **Mecânica dos Solos dos Estados Críticos**. 3. ed. 2007.

PINHEIRO, R. J. B.; SOARES, J. M. D.; TAVARES, I. S.; RACHELLI, R. T.; LUZ, E. L. **A importância da geologia nos problemas geotécnicos na região de Santa Maria**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10º CGBE, Ouro Preto, Minas Gerais, 2002,

PINTO C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RAUBER A.C.C. **Diagnóstico Ambiental Urbano do Meio Físico de Santa Maria – RS**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2008.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à**

engenharia de fundações. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ANEXOS

FIGURAS SPT1 – 1m

Umidade higroscópica		
Peso úmido+cáp (g):	63,91	63,78
Peso seco+cáp (g):	62,08	61,97
Peso cápsula (g) :	15,74	15,66
Umidade (%):	3,95	3,91
Umidade média (%):	3,93	

Sedimentação								
Massa Esp.sólidos (g/cm³):			2,788		Peso úmido (g):		88,63	Peso seco (g): 85,28
Tempo Decorrido	Temperatura T (°C)	Viscosidade m (g.s/cm²)	Densidade L	Correção Ld	Altura Queda h (cm)	Diâmetro D (mm)	(%) Amost. Total < Diâm.	
30	seg	19,9	1,0295E-05	1,0190	1,00417	16,29	0,0750	27,12
1	min	19,9	1,0295E-05	1,0180	1,00417	16,47	0,0533	25,29
2	min	19,9	1,0295E-05	1,0180	1,00417	16,47	0,0377	25,29
4	min	19,9	1,0295E-05	1,0180	1,00417	15,37	0,0253	25,29
8	min	19,9	1,0295E-05	1,0180	1,00417	15,37	0,0182	25,29
15	min	20,0	1,0270E-05	1,0170	1,00415	15,56	0,0134	23,49
30	min	19,9	1,0295E-05	1,0170	1,00417	15,56	0,0095	23,46
1	hora	19,8	1,0320E-05	1,0170	1,00419	15,56	0,0067	23,43
2	hora	20,1	1,0245E-05	1,0160	1,00413	15,74	0,0047	21,70
4	hora	20,4	1,0172E-05	1,0160	1,00408	15,74	0,0033	21,80
8	hora	22,0	9,7924E-06	1,0160	1,00378	15,74	0,0023	22,35
24	hora	21,0	1,0027E-05	1,0150	1,00397	15,93	0,0014	20,17

Peneiramento					
Ph #10 (g):		88,63	Ph #4 (g):		219,78
Ps #10 (g):		85,28	Ps #4 (g):		211,47
Peneiras N°	mm	Mat. Retido (g)	Material que passa (g)		(%) Passante
	25		Parcial	Total	
	19			211,47	100,00
	12,5			211,47	100,00
	9,5			211,47	100,00
4	4,8			211,47	100,00
10	2,00			211,47	100,00
20	0,84	0,85	84,43		99,00
40	0,42	8,38	76,05		89,18
60	0,25	19,41	56,64		66,42
100	0,15	12,77	43,87		51,44
200	0,075	15,22	28,65		33,59

FIGURAS SPT1 – 2m

Umidade higroscópica		
Peso úmido+cáp (g):	91,34	89,42
Peso seco+cáp (g):	88,49	86,47
Peso cápsula (g) :	14,45	11,66
Umidade (%):	3,85	3,94
Umidade média (%):	3,90	

Sedimentação								
Massa Esp.sólidos (g/cm³):			Peso úmido (g):			Peso seco (g):		
2,752			86,42			83,18		
Tempo Decorrido	Temperatura T (°C)	Viscosidade m (g.s/cm²)	Densidade L	Correção Ld	Altura Queda h (cm)	Diâmetro D (mm)	(%) Amost. Total < Diâm.	
30	seg	20,6	1,0123E-05	1,0210	1,00404	15,92	0,0743	32,02
1	min	20,6	1,0123E-05	1,0200	1,00404	16,10	0,0523	30,13
2	min	20,6	1,0123E-05	1,0190	1,00404	16,29	0,0373	28,25
4	min	20,6	1,0123E-05	1,0190	1,00404	15,19	0,0257	28,25
8	min	20,6	1,0123E-05	1,0190	1,00404	15,19	0,0181	28,25
15	min	20,5	1,0147E-05	1,0190	1,00406	15,19	0,0133	28,21
30	min	20,5	1,0147E-05	1,0180	1,00406	15,37	0,0094	26,32
1	hora	20,3	1,0196E-05	1,0170	1,00410	15,56	0,0067	24,37
2	hora	20,4	1,0172E-05	1,0170	1,00408	15,56	0,0043	24,40
4	hora	20,5	1,0147E-05	1,0160	1,00406	15,74	0,0034	22,55
8	hora	21,9	9,8155E-06	1,0150	1,00380	15,93	0,0024	21,16
24	hora	21,0	1,0027E-05	1,0140	1,00397	16,11	0,0014	18,94

Peneiramento					
Ph #10 (g):		86,42	Ph #4 (g):		1500,00
Ps #10 (g):		83,18	Ps #4 (g):		1443,75
Peneiras		Mat. Retido (g)	Material que passa (g)		(%) Passante
Nº	mm		Parcial	Total	
	25			1443,75	100,00
	19			1443,75	100,00
	12,5			1443,75	100,00
	9,5			1443,75	100,00
4	4,8			1443,75	100,00
10	2,00			1443,75	100,00
20	0,84		83,18		100,00
40	0,42	1,02	82,16		98,77
60	0,25	10,57	71,59		86,07
100	0,15	21,63	49,96		60,06
200	0,075	20,12	29,84		35,87

FIGURAS STP1 – 3m/2

Umidade higroscópica		
Peso úmido+cáp (g):	78,65	67,14
Peso seco+cáp (g):	76,94	65,72
Peso cápsula (g) :	12,20	11,10
Umidade (%):	2,64	2,60
Umidade média (%):	2,62	

Sedimentação								
Massa Esp.sólidos (g/cm³):			Peso úmido (g):			Peso seco (g):		
2,739			85,35			83,17		
Tempo Decorrido	Temperatura T (°C)	Viscosidade m (g.s/cm²)	Densidade L	Correção Ld	Altura Queda h (cm)	Diâmetro D (mm)	(%) Amost. Total < Diâm.	
30 seg	20,1	1,0245E-05	1,0210	1,00413	15,92	0,0750	31,94	
1 min	20,1	1,0245E-05	1,0200	1,00413	16,10	0,0533	30,05	
2 min	20,1	1,0245E-05	1,0190	1,00413	16,29	0,0379	28,16	
4 min	20,0	1,0270E-05	1,0190	1,00415	15,19	0,0259	28,12	
8 min	19,9	1,0295E-05	1,0190	1,00417	15,19	0,0184	28,09	
15 min	19,9	1,0295E-05	1,0180	1,00417	15,37	0,0135	26,19	
30 min	19,9	1,0295E-05	1,0160	1,00417	15,74	0,0097	22,41	
1 hora	19,8	1,0320E-05	1,0150	1,00419	15,93	0,0069	20,48	
2 hora	20,2	1,0221E-05	1,0140	1,00411	16,11	0,0049	18,72	
4 hora	20,4	1,0172E-05	1,0130	1,00408	16,30	0,0035	16,89	
8 hora	22,0	9,7924E-06	1,0110	1,00378	16,67	0,0024	13,68	
24 hora	21,0	1,0027E-05	1,0100	1,00397	16,85	0,0014	11,42	

Peneiramento					
Ph #10 (g):		85,35	Ph #4 (g):		274,41
Ps #10 (g):		83,17	Ps #4 (g):		267,40
Peneiras		Mat. Retido (g)	Material que passa (g)		(%) Passante
Nº	mm		Parcial	Total	
	25			267,40	100,00
	19			267,40	100,00
	12,5			267,40	100,00
	9,5			267,40	100,00
4	4,8			267,40	100,00
10	2,00			267,40	100,00
20	0,84	1,78	81,39		97,86
40	0,42	8,20	73,19		88,00
60	0,25	10,41	62,78		75,48
100	0,15	16,27	46,51		55,92
200	0,075	14,56	31,95		38,42

FIGURAS STP1 – 3m/1

Umidade higroscópica		
Peso úmido+cáp (g):	59,39	52,79
Peso seco+cáp (g):	57,89	51,58
Peso cápsula (g) :	11,97	11,04
Umidade (%):	3,27	2,98
Umidade média (%):	3,13	

Sedimentação								
Massa Esp.sólidos (g/cm³):			2,820		Peso úmido (g):		85,64	
					Peso seco (g):		83,04	
Tempo Decorrido	Temperatura T (°C)	Viscosidade m (g.s\cm²)	Densidade L	Correção Ld	Altura Queda h (cm)	Diâmetro D (mm)	(%) Amost. Total < Diâm.	
30	seg	20,4	1,0172E-05	1,0420	1,00408	12,03	0,0635	70,75
1	min	20,4	1,0172E-05	1,0410	1,00408	12,22	0,0453	68,89
2	min	20,4	1,0172E-05	1,0410	1,00408	12,22	0,0320	68,89
4	min	20,4	1,0172E-05	1,0400	1,00408	11,30	0,0213	67,02
8	min	20,5	1,0147E-05	1,0390	1,00406	11,49	0,0155	65,19
15	min	20,5	1,0147E-05	1,0350	1,00406	12,23	0,0117	57,73
30	min	20,3	1,0196E-05	1,0310	1,00410	12,97	0,0085	50,20
1	hora	20,2	1,0221E-05	1,0260	1,00411	13,89	0,0062	40,83
2	hora	20,6	1,0123E-05	1,0260	1,00404	13,89	0,0044	40,97
4	hora	20,7	1,0099E-05	1,0180	1,00402	15,37	0,0033	26,08
8	hora	22,2	9,7466E-06	1,0160	1,00374	15,74	0,0023	22,88
24	hora	21,3	9,9556E-06	1,0140	1,00391	16,11	0,0014	18,82

Peneiramento					
Ph #10 (g):		85,64		Ph #4 (g):	
				204,42	
Ps #10 (g):		83,04		Ps #4 (g):	
				198,22	
Peneiras		Mat. Retido (g)	Material que passa (g)		(%) Passante
Nº	mm		Parcial	Total	
	25			198,22	100,00
	19			198,22	100,00
	12,5			198,22	100,00
	9,5			198,22	100,00
4	4,8			198,22	100,00
10	2,00			198,22	100,00
20	0,84		83,04		100,00
40	0,42	0,02	83,02		99,98
60	0,25	0,07	82,95		99,89
100	0,15	0,21	82,74		99,64
200	0,075	0,25	82,49		99,34

FIGURAS SPT2 – 2m

Umidade higroscópica		
Peso úmido+cáp (g):	87,51	88,90
Peso seco+cáp (g):	85,19	86,72
Peso cápsula (g) :	11,03	15,59
Umidade (%):	3,13	3,06
Umidade média (%):	3,10	

Sedimentação								
Massa Esp.sólidos (g/cm³):			Peso úmido (g):			Peso seco (g):		
2,672			92,78			89,99		
Tempo Decorrido	Temperatura T (°C)	Viscosidade η (g.s/cm²)	Densidade L	Correção L_d	Altura Queda h (cm)	Diâmetro D (mm)	(%) Amost. Total < Diâm.	
30	seg	21,1	1,0003E-05	1,0150	1,00395	17,03	0,0782	19,62
1	min	21,1	1,0003E-05	1,0140	1,00395	17,21	0,0553	17,85
2	min	21,1	1,0003E-05	1,0140	1,00395	17,21	0,0393	17,85
4	min	21,1	1,0003E-05	1,0130	1,00395	16,30	0,0273	16,07
8	min	21,1	1,0003E-05	1,0130	1,00395	16,30	0,0191	16,07
15	min	21,1	1,0003E-05	1,0130	1,00395	16,30	0,0143	16,07
30	min	21,3	9,9556E-06	1,0120	1,00391	16,48	0,0099	14,36
1	hora	21,2	9,9792E-06	1,0110	1,00393	16,67	0,0071	12,55
2	hora	21,1	1,0003E-05	1,0110	1,00395	16,67	0,0053	12,52
4	hora	21,1	1,0003E-05	1,0100	1,00395	16,85	0,0035	10,74
8	hora	21,2	9,9792E-06	1,0090	1,00393	17,04	0,0025	9,00
24	hora	18,7	1,0600E-05	1,0090	1,00437	17,04	0,0015	8,22

Peneiramento					
Ph #10 (g):		92,78		Ph #4 (g):	
				433,94	
Ps #10 (g):		89,99		Ps #4 (g):	
				420,91	
Peneiras		Mat. Retido (g)	Material que passa (g)		(%)
Nº	mm		Parcial	Total	Passante
	25			420,91	100,00
	19			420,91	100,00
	12,5			420,91	100,00
	9,5			420,91	100,00
4	4,8			420,91	100,00
10	2,00			420,91	100,00
20	0,84	0,02	89,97		99,98
40	0,42	0,28	89,69		99,67
60	0,25	2,70	86,99		96,67
100	0,15	30,62	56,37		62,64
200	0,075	27,05	29,32		32,58

FIGURAS SPT 2 – 3m/2

Umidade higroscópica		
Peso úmido+cáp (g):	86,58	93,70
Peso seco+cáp (g):	84,90	91,96
Peso cápsula (g) :	11,96	15,73
Umidade (%):	2,30	2,28
Umidade média (%):	2,29	

Sedimentação												
Massa Esp.sólidos (g/cm³):			2,630		Peso úmido (g):		87,45		Peso seco (g):		85,49	
Tempo Decorrido		Temperatura T (°C)	Viscosidade m (g.s/cm²)	Densidade L	Correção Ld	Altura Queda h (cm)	Diâmetro D (mm)	(%) Amost. Total < Diâm.				
30	seg	20,6	1,0123E-05	1,0150	1,00404	17,03	0,0796	20,68				
1	min	20,6	1,0123E-05	1,0140	1,00404	17,21	0,0563	18,79				
2	min	20,6	1,0123E-05	1,0140	1,00404	17,21	0,0403	18,79				
4	min	20,7	1,0099E-05	1,0130	1,00402	16,30	0,0275	16,94				
8	min	20,7	1,0099E-05	1,0130	1,00402	16,30	0,0195	16,94				
15	min	20,9	1,0051E-05	1,0130	1,00399	16,30	0,0142	17,01				
30	min	21,0	1,0027E-05	1,0120	1,00397	16,48	0,0101	15,16				
1	hora	21,0	1,0027E-05	1,0120	1,00397	16,48	0,0071	15,16				
2	hora	21,5	9,9085E-06	1,0120	1,00387	16,48	0,0053	15,34				
4	hora	21,0	1,0027E-05	1,0110	1,00397	16,67	0,0033	13,27				
8	hora	21,3	9,9556E-06	1,0100	1,00391	16,85	0,0025	11,49				
24	hora	18,7	1,0600E-05	1,0090	1,00437	17,04	0,0015	8,73				

Peneiramento					
Ph #10 (g):		87,45	Ph #4 (g):		413,62
Ps #10 (g):		85,49	Ps #4 (g):		404,35
Peneiras		Mat. Retido (g)	Material que passa (g)		(%)
Nº	mm		Parcial	Total	Passante
	25			404,35	100,00
	19			404,35	100,00
	12,5			404,35	100,00
	9,5			404,35	100,00
4	4,8			404,35	100,00
10	2,00			404,35	100,00
20	0,84		85,49		100,00
40	0,42	0,79	84,70		99,08
60	0,25	2,68	82,02		95,94
100	0,15	25,45	56,57		66,17
200	0,075	35,50	21,07		24,65

FIGURAS SPT 2 – 3m/1

Umidade higroscópica		
Peso úmido+cáp (g):	78,71	68,78
Peso seco+cáp (g):	77,58	67,78
Peso cápsula (g) :	14,41	11,62
Umidade (%):	1,79	1,78
Umidade média (%):	1,78	

Sedimentação									
Massa Esp.sólidos (g/cm³):		2,637		Peso úmido (g):		84,62		Peso seco (g):	83,14
Tempo Decorrido	Temperatura T (°C)	Viscosidade m (g.s/cm²)	Densidade L	Correção Ld	Altura Queda h (cm)	Diâmetro D (mm)	(%) Amost. Total < Diâm.		
30 seg	21,1	1,0003E-05	1,0150	1,00395	17,03	0,0790	21,41		
1 min	21,1	1,0003E-05	1,0140	1,00395	17,21	0,0562	19,47		
2 min	21,1	1,0003E-05	1,0130	1,00395	17,40	0,0399	17,54		
4 min	21,1	1,0003E-05	1,0130	1,00395	16,30	0,0273	17,54		
8 min	21,1	1,0003E-05	1,0130	1,00395	16,30	0,0193	17,54		
15 min	21,1	1,0003E-05	1,0120	1,00395	16,48	0,0142	15,60		
30 min	21,1	1,0003E-05	1,0110	1,00395	16,67	0,0101	13,66		
1 hora	21,1	1,0003E-05	1,0110	1,00395	16,67	0,0071	13,66		
2 hora	21,6	9,8851E-06	1,0100	1,00385	16,85	0,0053	11,91		
4 hora	21,2	9,9792E-06	1,0100	1,00393	16,85	0,0033	11,76		
8 hora	21,7	9,8618E-06	1,0080	1,00384	17,22	0,0025	8,07		
24 hora	19,4	1,0421E-05	1,0080	1,00426	17,22	0,0015	7,26		

Peneiramento					
Ph #10 (g):		84,62	Ph #4 (g):		340,62
Ps #10 (g):		83,14	Ps #4 (g):		334,65
Peneiras		Mat. Retido (g)	Material que passa (g)		(%) Passante
Nº	mm		Parcial	Total	
	25			334,65	100,00
	19			334,65	100,00
	12,5			334,65	100,00
	9,5			334,65	100,00
4	4,8			334,65	100,00
10	2,00			334,65	100,00
20	0,84		83,14		100,00
40	0,42	0,02	83,12		99,98
60	0,25	4,83	78,29		94,17
100	0,15	31,79	46,50		55,93
200	0,075	26,89	19,61		23,58

FIGURAS SPT 2 – 4m

Umidade higroscópica		
Peso úmido+cáp (g):	83,64	83,16
Peso seco+cáp (g):	82,50	82,02
Peso cápsula (g) :	12,20	11,10
Umidade (%):	1,62	1,61
Umidade média (%):	1,61	

Sedimentação								
Massa Esp.sólidos (g/cm³):		2,649	Peso úmido (g):		85,66	Peso seco (g):		84,30
Tempo Decorrido	Temperatura T (°C)	Viscosidade m (g.s/cm²)	Densidade L	Correção Ld	Altura Queda h (cm)	Diâmetro D (mm)	(%) Amost. Total < Diâm.	
30	seg	21,2	9,9792E-06	1,0120	1,00393	17,58	0,0799	15,38
1	min	21,2	9,9792E-06	1,0110	1,00393	17,77	0,0563	13,47
2	min	21,2	9,9792E-06	1,0100	1,00393	17,95	0,0404	11,57
4	min	21,2	9,9792E-06	1,0090	1,00393	17,04	0,0273	9,66
8	min	21,2	9,9792E-06	1,0090	1,00393	17,04	0,0197	9,66
15	min	21,2	9,9792E-06	1,0090	1,00393	17,04	0,0144	9,66
30	min	21,2	9,9792E-06	1,0080	1,00393	17,22	0,0102	7,75
1	hora	21,2	9,9792E-06	1,0080	1,00393	17,22	0,0072	7,75
2	hora	21,7	9,8618E-06	1,0080	1,00384	17,22	0,0051	7,94
4	hora	21,1	1,0003E-05	1,0080	1,00395	17,22	0,0033	7,72
8	hora	21,3	9,9556E-06	1,0070	1,00391	17,41	0,0023	5,88
24	hora	19,2	1,0471E-05	1,0060	1,00429	17,59	0,0015	3,26

Peneiramento					
Ph #10 (g):		85,66	Ph #4 (g):		425,46
Ps #10 (g):		84,30	Ps #4 (g):		418,69
Peneiras		Mat. Retido (g)	Material que passa (g)		(%)
Nº	mm		Parcial	Total	Passante
	25			418,69	100,00
	19			418,69	100,00
	12,5			418,69	100,00
	9,5			418,69	100,00
4	4,8			418,69	100,00
10	2,00			418,69	100,00
20	0,84	0,93	83,37		98,90
40	0,42	5,66	77,71		92,18
60	0,25	11,99	65,72		77,96
100	0,15	32,10	33,62		39,88
200	0,075	18,33	15,28		18,13

FIGURAS SPT 3 – 1m

Umidade higroscópica		
Peso úmido+cáp (g):	94,44	90,83
Peso seco+cáp (g):	91,88	88,32
Peso cápsula (g) :	18,87	13,49
Umidade (%):	3,51	3,35
Umidade média (%):	3,43	

Sedimentação								
Massa Esp.sólidos (g/cm³):		2,685	Peso úmido (g):		88,70	Peso seco (g):		85,76
Tempo Decorrido	Temperatura T (°C)	Viscosidade m (g.s/cm²)	Densidade L	Correção Ld	Altura Queda h (cm)	Diâmetro D (mm)	(%) Amost. Total < Diâm.	
30	seg	21,9	9,8155E-06	1,0150	1,00380	17,03	0,0771	20,82
1	min	21,9	9,8155E-06	1,0140	1,00380	17,21	0,0543	18,96
2	min	21,9	9,8155E-06	1,0140	1,00380	17,21	0,0383	18,96
4	min	21,9	9,8155E-06	1,0130	1,00380	16,30	0,0267	17,10
8	min	22,0	9,7924E-06	1,0130	1,00378	16,30	0,0183	17,14
15	min	22,0	9,7924E-06	1,0120	1,00378	16,48	0,0133	15,28
30	min	22,0	9,7924E-06	1,0120	1,00378	16,48	0,0093	15,28
1	hora	22,2	9,7466E-06	1,0110	1,00374	16,67	0,0069	13,49
2	hora	21,8	9,8386E-06	1,0110	1,00382	16,67	0,0049	13,35
4	hora	21,9	9,8155E-06	1,0100	1,00380	16,85	0,0035	11,53
8	hora	22,3	9,7238E-06	1,0090	1,00372	17,04	0,0025	9,81
24	hora	20,3	1,0196E-05	1,0090	1,00410	17,04	0,0015	9,11

Peneiramento					
Ph #10 (g):		88,70	Ph #4 (g):		399,60
Ps #10 (g):		85,76	Ps #4 (g):		386,35
Peneiras		Mat. Retido (g)	Material que passa (g)		(%) Passante
Nº	mm		Parcial	Total	
	25			386,35	100,00
	19			386,35	100,00
	12,5			386,35	100,00
	9,5			386,35	100,00
4	4,8			386,35	100,00
10	2,00			386,35	100,00
20	0,84	6,33	79,43		92,62
40	0,42	9,35	70,08		81,72
60	0,25	12,18	57,90		67,51
100	0,15	17,61	40,29		46,98
200	0,075	16,78	23,51		27,41

FIGURAS SPT 3 – 2m

Umidade higroscópica		
Peso úmido+cáp (g):	103,19	95,24
Peso seco+cáp (g):	101,31	93,53
Peso cápsula (g) :	11,44	10,63
Umidade (%):	2,09	2,06
Umidade média (%):	2,08	

Sedimentação								
Massa Esp.sólidos (g/cm³):			2,622		Peso úmido (g):		92,13	Peso seco (g): 90,26
Tempo Decorrido	Temperatura T (°C)	Viscosidade m (g.s/cm²)	Densidade L	Correção Ld	Altura Queda h (cm)	Diâmetro D (mm)	(%) Amost. Total < Diâm.	
30 seg	21,8	9,8386E-06	1,0170	1,00382	16,66	0,0779	23,61	
1 min	21,8	9,8386E-06	1,0160	1,00382	16,84	0,0554	21,82	
2 min	21,8	9,8386E-06	1,0150	1,00382	17,03	0,0394	20,03	
4 min	21,8	9,8386E-06	1,0140	1,00382	16,11	0,0271	18,24	
8 min	21,9	9,8155E-06	1,0140	1,00380	16,11	0,0191	18,27	
15 min	21,8	9,8386E-06	1,0140	1,00382	16,11	0,0140	18,24	
30 min	22,0	9,7924E-06	1,0140	1,00378	16,11	0,0099	18,31	
1 hora	22,0	9,7924E-06	1,0130	1,00378	16,30	0,0070	16,52	
2 hora	21,9	9,8155E-06	1,0120	1,00380	16,48	0,0050	14,69	
4 hora	21,8	9,8386E-06	1,0110	1,00382	16,67	0,0036	12,87	
8 hora	22,1	9,7695E-06	1,0100	1,00376	16,85	0,0025	11,18	
24 hora	20,1	1,0245E-05	1,0090	1,00413	17,04	0,0015	8,72	

Peneiramento					
Ph #10 (g):		92,13	Ph #4 (g):		546,08
Ps #10 (g):		90,26	Ps #4 (g):		534,97
Peneiras		Mat. Retido (g)	Material que passa (g)		(%) Passante
Nº	mm		Parcial	Total	
	25			534,97	100,00
	19			534,97	100,00
	12,5			534,97	100,00
	9,5			534,97	100,00
4	4,8			534,97	100,00
10	2,00			534,97	100,00
20	0,84	0,61	89,65		99,32
40	0,42	1,56	88,09		97,60
60	0,25	10,55	77,54		85,91
100	0,15	24,45	53,09		58,82
200	0,075	29,30	23,79		26,35

FIGURAS SPT3 – 3m

Umidade higroscópica		
Peso úmido+cáp (g):	95,37	89,79
Peso seco+cáp (g):	92,94	87,42
Peso cápsula (g) :	14,65	10,73
Umidade (%):	3,10	3,09
Umidade média (%):	3,10	

Sedimentação								
Massa Esp.sólidos (g/cm³):			2,653		Peso úmido (g):		86,76	
					Peso seco (g):		84,15	
Tempo Decorrido	Temperatura T (°C)	Viscosidade m (g.s/cm²)	Densidade L	Correção Ld	Altura Queda h (cm)	Diâmetro D (mm)	(%) Amost. Total < Diâm.	
30 seg	21,9	9,8155E-06	1,0160	1,00380	16,84	0,0775	23,27	
1 min	21,9	9,8155E-06	1,0150	1,00380	17,03	0,0551	21,37	
2 min	21,9	9,8155E-06	1,0150	1,00380	17,03	0,0389	21,37	
4 min	21,9	9,8155E-06	1,0150	1,00380	15,93	0,0263	21,37	
8 min	21,9	9,8155E-06	1,0150	1,00380	15,93	0,0183	21,37	
15 min	22,0	9,7924E-06	1,0140	1,00378	16,11	0,0133	19,50	
30 min	22,0	9,7924E-06	1,0140	1,00378	16,11	0,0093	19,50	
1 hora	22,0	9,7924E-06	1,0130	1,00378	16,30	0,0063	17,59	
2 hora	21,7	9,8618E-06	1,0130	1,00384	16,30	0,0049	17,48	
4 hora	21,9	9,8155E-06	1,0120	1,00380	16,48	0,0035	15,64	
8 hora	22,4	9,7011E-06	1,0110	1,00370	16,67	0,0025	13,93	
24 hora	20,3	1,0196E-05	1,0100	1,00410	16,85	0,0015	11,26	

Peneiramento					
Ph #10 (g):		86,76		Ph #4 (g):	
Ps #10 (g):		84,15		Ps #4 (g):	
Peneiras		Mat. Retido (g)	Material que passa (g)		(%)
Nº	mm		Parcial	Total	Passante
	25			608,45	100,00
	19			608,45	100,00
	12,5			608,45	100,00
	9,5			608,45	100,00
4	4,8			608,45	100,00
10	2,00			608,45	100,00
20	0,84	0,41	83,74		99,51
40	0,42	1,88	81,86		97,28
60	0,25	12,88	68,98		81,97
100	0,15	25,78	43,20		51,34
200	0,075	18,71	24,49		29,11